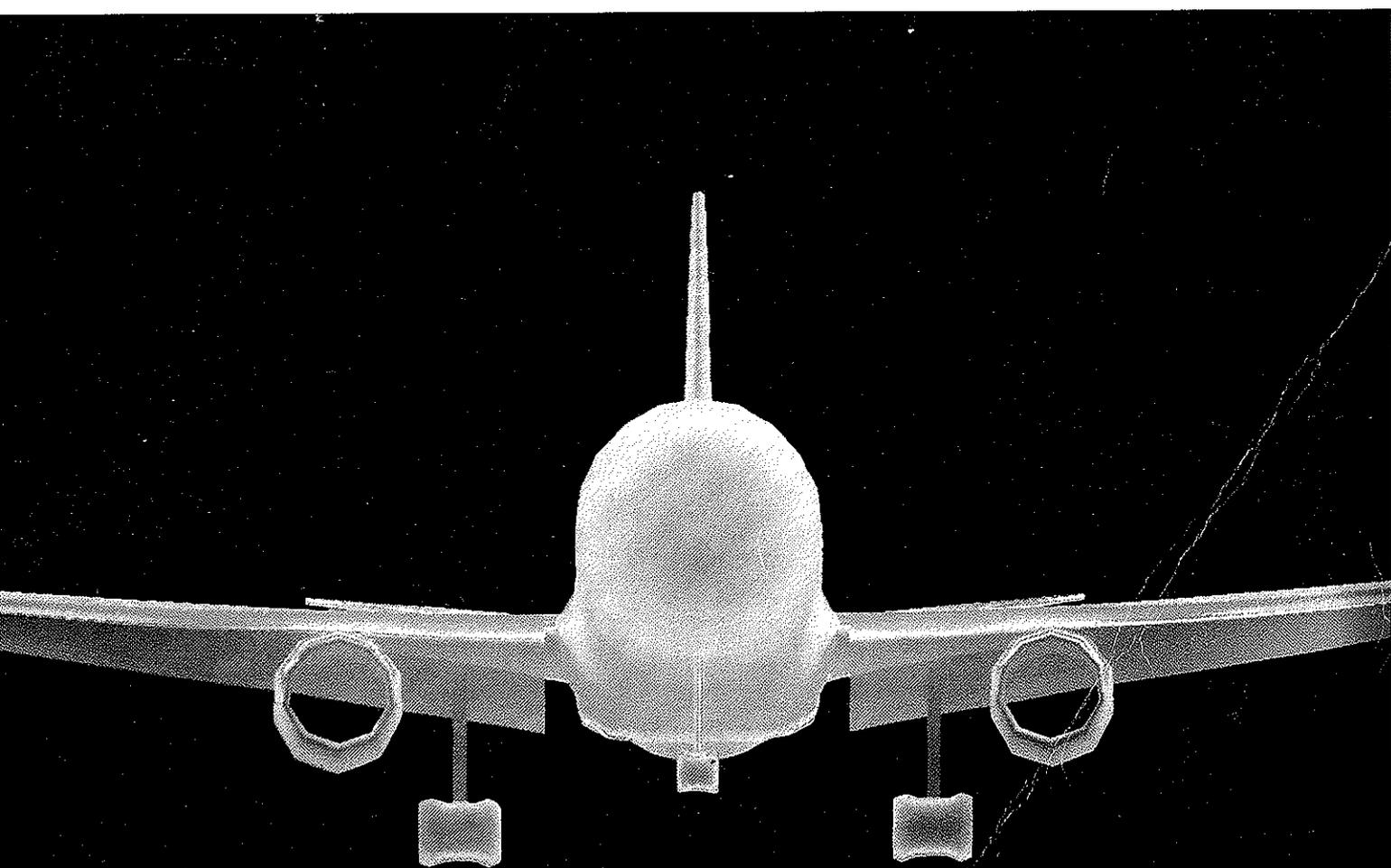


# LA RECHERCHE TRANSPORTS

SUPPLÉMENT AU N° 190 DE LA RECHERCHE



*Les transports de demain*

# LA RECHERCHE TRANSPORTS

Quoi de plus commun que de prendre place à bord d'un avion, d'un métro, d'une automobile ou d'un train? Les moyens de transport, indispensables à l'économie et à notre vie quotidienne, se sont, il faut bien l'avouer, quelque peu banalisés. Au point même qu'il faut parfois des événements exceptionnels perturbant leur fonctionnement, comme des conditions climatiques très sévères, pour reconnaître toute la place qu'ils occupent aujourd'hui.

Ne nous y trompons pas. Ce secteur, longtemps considéré comme « traditionnel », est bel et bien devenu un secteur de pointe. *La Recherche* en fait la démonstration dans ce supplément consacré aux *Transports de demain*. Voici le premier tour d'horizon complet des recherches et des techniques mises en œuvre dans les transports qui, dans un langage simple, met en évidence leur caractère innovant. L'avion, par exemple, déjà moteur de cette innovation, continuera d'être un fantastique champ d'exploration des technologies de pointe. Comme le montrent Philippe Poisson-Quinton et Christiane Michaut, l'avion du futur, pour être à la portée du plus grand nombre et assurer une sécurité toujours accrue, fera appel aux matériaux composites et aux alliages les plus performants; l'ordinateur deviendra même un membre à part entière de l'équipage.

Au ras du sol, si l'on peut dire, le train à grande vitesse, TGV pour tout un chacun, reliera bientôt Paris à Nantes, puis à Bordeaux, en roulant à 300 km/h. Ici aussi, nous dit Daniel Lancien, informatique et nouveaux matériaux augmenteront le confort, la sécurité et l'économie. Ils nous promettent même un TGV de troisième génération, bolide fonçant — qui sait ? — à près de 400 km/h dans la nature.

Quant à la voiture, c'est d'intelligence qu'elle fera preuve! En suivant Charles Parey et André Lauer, nous verrons qu'elle

sera équipée, d'ici moins de dix ans, d'un ordinateur de bord qui pourra remplacer le conducteur dans certaines de ses tâches. Elle sera le fruit des derniers progrès de la micro-informatique, des techniques de communication et de l'intelligence artificielle.

Nous entrons dans une ville? Sautons de la voiture pour prendre le métro. Demain, il sera entièrement automatique, selon Jean-Paul Perrin et Jean-Pierre Pascal. Automatique dans sa conduite bien sûr, mais aussi dans la gestion des rames et dans son entretien. Les moteurs et les modes de sustentation classiques pourraient même céder la place à des moyens plus futuristes, telle la sustentation magnétique.

Les marchandises, enfin, ne seront pas en reste. Car les transporteurs, pour adapter l'offre à la demande, doivent bouleverser leur façon de travailler: déjà, il leur faut localiser en permanence camions et conteneurs. Informatique et transmissions de données sont au rendez-vous...

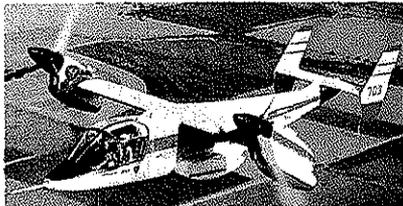
Ce dernier secteur d'activité met l'accent sur un point capital: l'utilisation massive des nouvelles technologies transforme profondément le monde du transport. Par ailleurs, les industriels se trouvent face à une concurrence d'autant plus sévère que les transports s'appuient désormais sur une évolution technologique rapide. Deux éléments qui font tout naturellement de la recherche une donnée clé. Or, ici, elle ne peut se faire sans l'industrie, même si l'Etat apporte un appui indispensable. C'est ce que souligne Jacques Douffiagues, ministre délégué chargé des Transports, qui décrit, dans un entretien qu'il nous a accordé, la situation française. Un formidable pas de tir: voilà donc ce que pourraient être les transports de demain pour la recherche industrielle.

La Recherche

## Les transports de demain

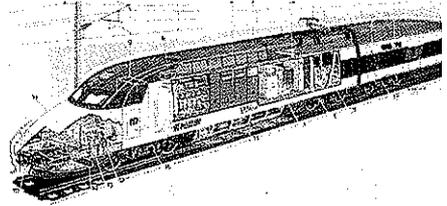
### LES FUTURS AVIONS DE TRANSPORT

par  
Philippe Poisson-Quinton  
et Christiane Michaut.  
(page 4)



### TGV : VERS UNE TROISIÈME GÉNÉRATION

par Daniel Lancien.  
(page 40)



### LES TRANSPORTS URBAINS AUTOMATIQUES DE DEMAIN

par Jean-Paul Perrin et Jean-Pierre Pascal.  
(p. 18)

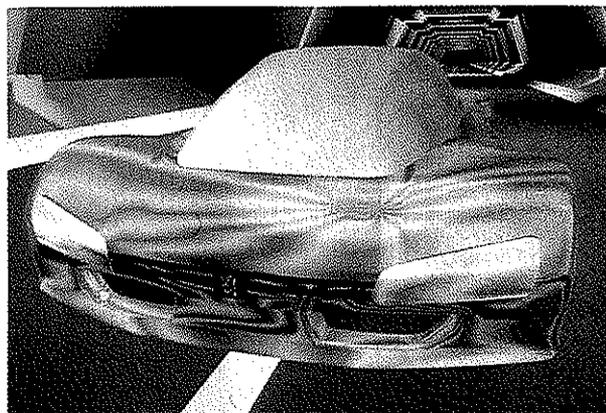


### LE RENOUVEAU DES TRANSPORTS DE MARCHANDISES

par Jacques Collin. (p. 30)

### LA VOITURE INTELLIGENTE

par Charles Parey et André Lauer. (p. 46)



### ENTRETIEN AVEC M. JACQUES DOUFFIAGUES

Les transports :  
une industrie de  
haute  
technologie  
(p. 56)

SUPPLÉMENT AU N° 190 DE LA RECHERCHE

# Les futurs avions de transport

par Philippe Poisson-Quinton et Christiane Michaut



**Pour être à la portée du plus grand nombre d'entre nous, les avions de transport de demain devront être de plus en plus économiques, aussi bien à la construction qu'à l'exploitation. Mais cette économie doit se faire en tenant compte de deux impératifs : une exceptionnelle sécurité et un minimum de nuisances... Désormais, l'électronique et les technologies nouvelles y contribuent indiscutablement. Ainsi l'ordinateur devient non seulement un assistant privilégié des concepteurs, mais aussi un membre à part entière de l'équipage de chaque avion. La structure des avions et celle de leurs moteurs font appel à des matériaux composites et à des alliages nouveaux très performants, permettant des gains de poids spectaculaires, tandis que leur optimisation aérodynamique contribue aussi à l'économie de carburant. Mais ces progrès techniques, présents et futurs, ne se limiteront pas aux avions « de tous les jours ». Ils contribueront aussi au mariage de l'hélicoptère et de l'avion, et à la naissance des héritiers de Concorde puis des avions satellisables.**

**L**e fulgurant développement du trafic aérien à partir des années 1960 a résulté d'un saut technologique majeur : l'introduction de la propulsion à réaction, à la place des hélices, sur la plupart des avions de transport. Cela a permis de réduire de moitié le temps de voyage, effectué dorénavant au-dessus du mauvais temps. Les années 1970 ont vu un autre saut technologique : l'introduction du transport supersonique Concorde, qui a réduit encore de moitié le temps du voyage pour un million et demi de passagers privilégiés, sans incidents majeurs depuis dix ans. Parallèlement le trafic aérien conventionnel a continué à croître au même rythme, grâce à l'introduction d'avions de grande capacité, à la fois plus économiques, plus confortables et plus silencieux. Ainsi en vingt-cinq ans, le trafic aérien régulier mondial a décuplé, pour atteindre 1 360 milliards de passagers x kilomètres en 1985 ! Simultanément, le fret aérien a doublé ces dix dernières années pour atteindre 44 milliards de tonnes x kilomètres, dont 10 % pour la poste.

Les années 1980 sont déjà marquées par deux autres sauts technologiques : l'introduction progressive des ordinateurs, tant pour la conception des avions (fig. 1) que pour leur pilotage (fig. 5), et l'emploi de matériaux nouveaux — composites et alliages métalliques — destinés à alléger les appareils et à améliorer le rendement des propulseurs. Il en résulte dès maintenant une excellente efficacité du transport aérien, qui peut être évaluée, par exemple, en litres de carburant par siège aux cent kilomètres. Cette consommation a diminué de moitié depuis les premiers avions à réaction, pour atteindre aujourd'hui environ 2,9 litres sur le nouvel Airbus A-320, valeur comparable à celle de nos voitures pour chacune des quatre places !

Au cours des deux prochaines décennies, tout comme aujourd'hui, la plus grande partie du trafic aérien restera assu-

rée par des avions encore plus économiques, circulant à des vitesses subsoniques — comprises entre 800 et 900 km/h. L'exposé qui suit sera limité à l'évolution future de ce type d'avions, sachant qu'il existe d'autres catégories (transport régional, avions d'affaires, etc.) assurant un trafic complémentaire essentiel, et qui bénéficieront de la plupart des progrès technologiques évoqués ici.

Mais quelles sont au juste les conditions d'une meilleure économie pour une compagnie aérienne ? Elles apparaissent clairement dans l'évaluation du coût direct d'exploitation par heure de vol d'un avion. Par exemple, pour un Airbus récent, 40 % de ce coût correspondent à l'amortissement d'achat et à l'assurance de l'appareil, environ 24 % au prix du carburant — momentanément raisonnable ! —, 21 % aux frais de personnel navigant et enfin 15 % aux frais de maintenance. Or nous allons voir que la réduction de tous ces coûts passe en fait par des progrès technologiques dont certains n'en sont encore qu'au stade expérimental, alors que d'autres sortent déjà en production. Parallèlement, ces conquêtes technologiques serviront au développement de nouveaux types d'avions, adaptés à des missions extrêmes exigeant l'essor vertical ou de très grandes vitesses (fig. 2). Certains, les « grandtables », décolleront à la verticale depuis des plates-formes en ville et navigueront à 600 km/h (encadré 1). D'autres pourront joindre n'importe quel point du monde en quelques heures (encadré 2). Mais dans les deux cas, le passager devra payer davantage pour ces services exceptionnels.

#### Pour une meilleure économie.

Revenons donc sur les conditions d'une meilleure économie globale du système de transport aérien, en tenant compte de deux impératifs : une exceptionnelle sécurité et un minimum de nuisances. Une telle amélioration passe par la réduction des coûts de production des avions et de leurs frais d'exploitation. Comme dans toute industrie de pointe, le coût de pro-

*Figure 1. Dans les vingt années à venir, tous les domaines de l'aéronautique, et en particulier l'optimisation aérodynamique des avions, vont bénéficier des apports de l'ordinateur. On voit à gauche une représentation graphique des niveaux de pression calculés sur les surfaces de l'Airbus A-320 en configuration d'atterrissage (volets sortis). Les dépressions apparaissent en rouge et les surpressions en bleu.*

*Cependant, il sera toujours indispensable de valider ces prévisions par des essais sur maquettes en soufflerie : on voit en bas une maquette du même avion, au cours d'un essai dans la soufflerie de l'ONERA au Fauga, près de Toulouse. Grâce à la pressurisation du circuit de cette soufflerie, il est possible de se rapprocher des conditions réelles du vol aux basses vitesses. Ainsi calculs sophistiqués et essais précis sont complémentaires pour améliorer les performances de sustentation de ces volets au décollage et à l'atterrissage, tout en simplifiant leur dessin — d'où un gain de poids. (Clichés ONERA et Aérospatiale)*

toutes les disciplines essentielles de l'aéronautique bénéficient des nouvelles technologies.

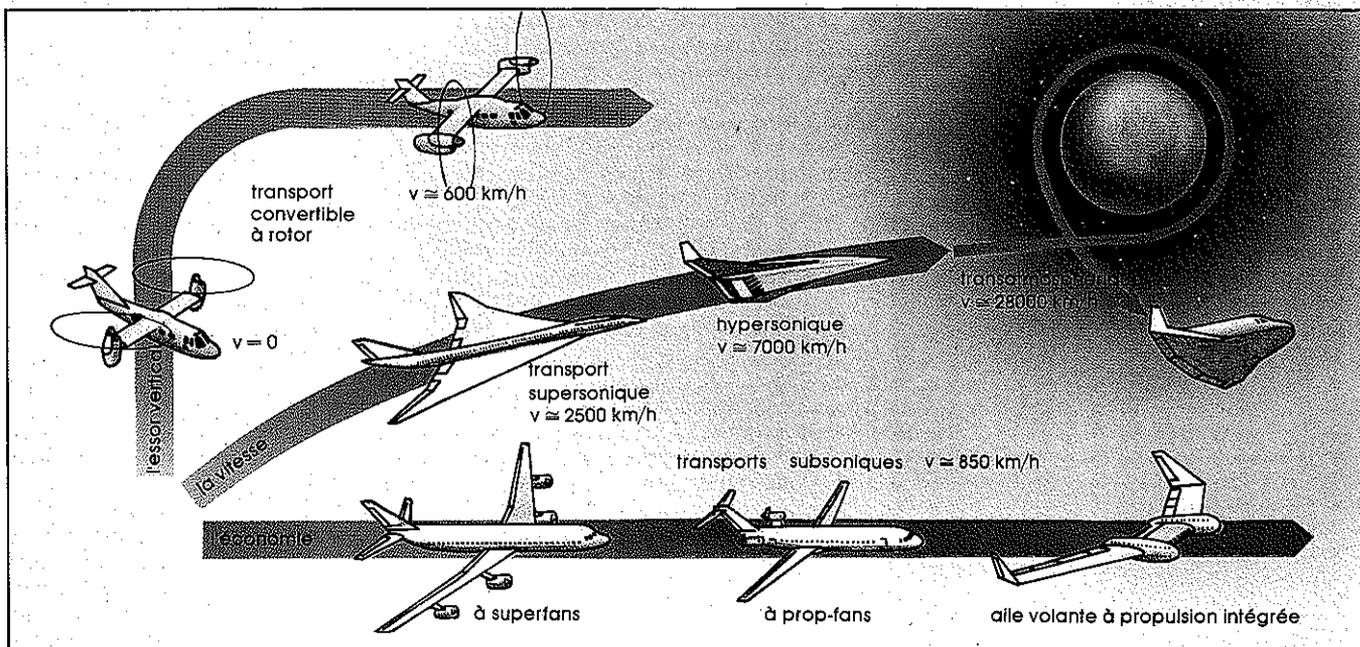


Figure 2. Tout comme aujourd'hui, la plus grande partie du trafic aérien futur sera assurée par des avions subsoniques (en bas), pour lesquels on cherchera à améliorer l'économie de vol. Comment ? Notamment par une amélioration de leur rendement propulsif, grâce à de nouvelles hélices comme le « prop-fan » ou de nouveaux réacteurs comme le « superfan », et par un allègement de leur structure, grâce à de nouveaux matériaux. Enfin, on optimisera leur rendement aérodynamique en augmentant l'envergure de leurs ailes et en diminuant le frottement de l'air au contact de leurs parois (en bas à droite). Parallèlement, les recherches en cours permettront, à l'orée du XXI<sup>e</sup> siècle, le développement d'un transport aérien certainement plus coûteux, mais adapté à des missions extrêmes. D'une part, le « convertible » à rotors basculants (en haut), combinera l'essor vertical et une vitesse de croisière élevée pour le trafic inter-cités rapide. D'autre part, le successeur de Concorde effectuera toutes les liaisons transocéaniques directes autour du monde en quelques heures, à un coût d'exploitation raisonnable. Mais ce n'est que dans un quart de siècle que l'on pourra envisager un transport hypersonique (au centre) qui ouvrira la voie à l'avion transatmosphérique satellisable...

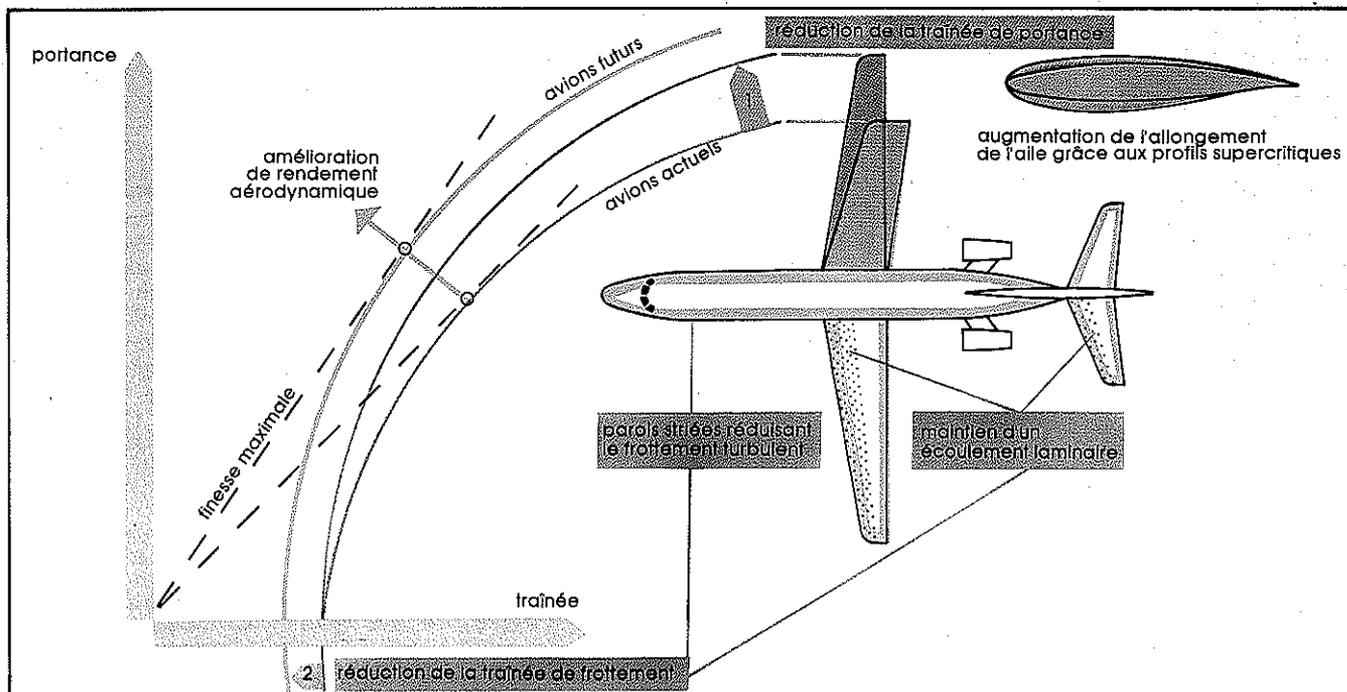


Figure 3. Le rendement aérodynamique d'un avion se juge sur sa « polaire », courbe représentant sa « traînée » (ou résistance à l'avancement à vaincre par la poussée des propulseurs), en fonction de sa « portance » (sustentation de l'aile équilibrant le poids de l'avion). Le vol de croisière économique doit se situer au voisinage de la « finesse maximale » donnant le meilleur rapport poids/poussée sur cette courbe. On a porté sur le graphique les polaires correspondant aux avions actuels (courbe inférieure) et aux avions futurs (courbe supérieure). On voit que l'amélioration du rendement aérodynamique d'un avion passe par la réduction des deux principales composantes de sa résistance à l'avancement, sensiblement égales en vol de croisière. L'une est la traînée induite par la sustentation des ailes, équilibrant le poids de l'avion. Elle diminue lorsque l'on augmente l'envergure des ailes à surface égale (1). Grâce à l'emploi récent de profils dits « supercritiques » (à droite), calculés par ordinateur, on a pu augmenter l'épaisseur des ailes — et ainsi accroître leur envergure, en assurant la rigidité nécessaire sans pénaliser le poids de l'avion. L'autre composante de la résistance à l'avancement est la traînée de frottement de l'air sur les parois de l'avion. Elle peut être réduite (2) en maintenant un écoulement non turbulent — on dit aussi « laminaire » — dans la couche d'air au contact de la paroi des ailes, des empennages et des propulseurs, grâce à leurs profils optimisés par ordinateur et à un état de surface parfaitement lisse (revêtement en composites). On pourra également contrôler cette laminarité en aspirant l'air à travers la paroi, localement poreuse. Enfin, il sera peut-être possible de réduire le frottement sur le fuselage, en minimisant les échanges tourbillonnaires dans la couche turbulente grâce à des obstacles microscopiques, telles des striures longitudinales incrustées dans un film plastique collé sur la paroi du fuselage.

Philippe Boisson-Quinton est actuellement chef conseiller à l'ONERA Office national d'études et de recherches aérospatiales, après y avoir été directeur technique adjoint, puis directeur des coopérations internationales. Christiane Alchaut, diplômée de l'Ecole nationale de l'aviation civile, est ingénieur de recherche à la direction des études de synthèse de l'ONERA.

duction est lié, tout d'abord, au temps de conception. C'est pourquoi il est important de minimiser ce dernier, notamment grâce aux méthodes de conception assistée par ordinateur (CAO) pour le calcul aérodynamique et structural du projet. Mais il faut aussi réduire les temps de production, grâce à la fabrication assistée par ordina-

conduite du vol grâce au « contrôle actif généralisé » par ordinateurs à bord, comme nous le verrons plus loin. Mais la diminution de ces frais passe également par la réduction des attentes — actuellement ruineuses — en vol et au sol, c'est-à-dire par l'automatisation de la gestion du vol, de la navigation et de l'organisa-

allons le voir, elles assureront aux futurs avions une avance technique notable, vitale pour leur compétitivité au niveau international. Mais ce sera le rôle du maître d'œuvre d'effectuer une intégration harmonieuse de ces technologies nouvelles tout en limitant les risques dus aux difficultés techniques, à l'inflation des

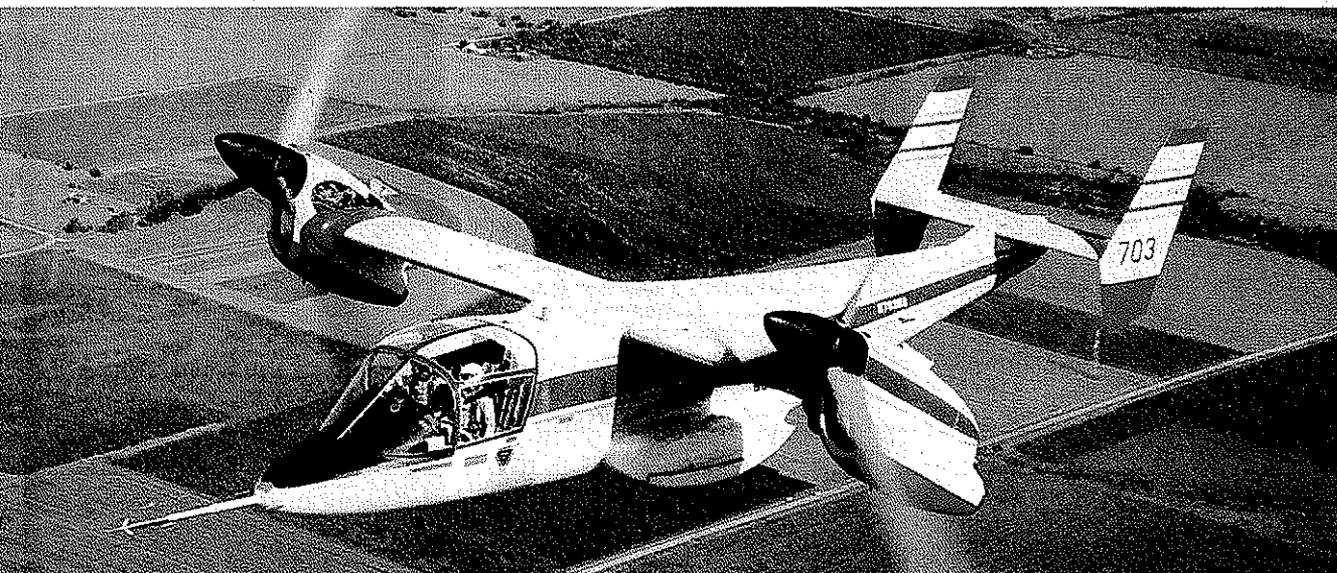
## 1 L'ESSOR VERTICAL POUR UN TRANSPORT DE PORTE À PORTE

Il existe un marché potentiel de plus en plus important pour un véhicule qui effectuerait des trajets réguliers entre centres-villes à moyenne distance lorsque les transports terrestres rapides font défaut, ou encore entre un aéroport central et des métropoles périphériques. Pourquoi ne pas envisager alors un avion « convertible », permettant d'allier la capacité d'essor

obstacle est surmonté, jusqu'à 600 km/h environ, par le fonctionnement en hélice à axe horizontal.

La sécurité du convertible, en cas de panne de l'un de ses turbo-propulseurs, est assurée par une interconnexion mécanique automatique entre les deux moteurs basculants situés en bout d'aile. De plus, une automatisation complète de

l'« Osprey V-22 », commandé à près de mille exemplaires aux sociétés Bell et Boeing-Vertol pour servir aux trois armes dès 1993. Une version civile pour quarante-cinq passagers est à l'étude. Un projet de convertible de transport civil, l'EUROFAR (*European future advanced rotorcraft*), du même type mais d'une capacité moindre (20-25 passagers), est proposé par une



vertical de l'hélicoptère et la vitesse de croisière d'un bon avion à hélices (de l'ordre de 600 km/h), grâce au basculement de l'axe de poussée des grandes hélices (fig. 2), adaptées à ces deux régimes de vol fort différents ? On disposerait ainsi d'un transport rapide de porte à porte, à la demande, avec une capacité correspondant aux transports régionaux actuels (40 à 50 passagers) ou à des « avions d'affaires » (10 à 20 passagers).

S'il est vrai que des progrès technologiques importants ont été accomplis sur les hélicoptères depuis quelques années, l'inconvénient majeur de l'hélicoptère est que sa vitesse restera toujours modeste. Elle sera en effet limitée à environ 300 km/h, en raison de phénomènes aérodynamiques perturbateurs qui apparaissent sur les pales du rotor à vitesse plus élevée (combinaison des vitesses de rotation et d'avancement). Cet

la « conversion » entre les deux régimes de vol extrêmes est obtenue grâce aux calculateurs de bord, au travers de commandes électriques (CAG). D'autre part, la charge transportée peut être augmentée de plus de 50 % si l'appareil dispose d'un petit terrain pour décoller en roulant, avec l'axe des rotors légèrement inclinés vers l'avant.

La validité de ce convertible à rotors basculants est déjà acquise avec la machine expérimentale américaine XV-15A, développée par la société Bell pour la NASA, et qui vole depuis plusieurs années. On voit sur la photographie la phase de transition entre les configurations, qui permet de passer de la vitesse zéro à plus de 500 km/h en quelques dizaines de secondes. Le succès de ce « démonstrateur » a déclenché le lancement par le ministère américain de la Défense d'un appareil multi-missions,

association de constructeurs européens dans le cadre du programme EUREKA. Sa capacité serait bien adaptée au trafic inter-cités à l'aube de l'an 2000, car il utiliserait des plates-formes de taille réduite à l'intérieur des villes (hélicopters, toits de parking ou de gares, etc.), tout en respectant les normes de bruit. Ce convertible pourrait également succéder aux hélicoptères actuels pour beaucoup de missions exigeant l'essor vertical (protection civile et secours d'urgence, desserte des plates-formes pétrolières offshore, etc.) en offrant une vitesse de croisière et un rayon d'action doublés, avec un meilleur confort, grâce au vol « au-dessus du mauvais temps ». La France est bien placée pour participer à ce projet, grâce aux études théoriques et expérimentales effectuées depuis plusieurs années par l'Aérospatiale/Marignane et l'ONERA. (Cliché NASA)

leur (FAO), et à de nouveaux procédés d'élaboration de matériaux plus légers et résistants. Enfin, il faut réduire les temps de mise au point en laboratoire (soufflerie, simulateur) et en vol (validation sur avion expérimental).

Quant à la diminution des frais d'exploitation, elle passe, bien évidemment, par la réduction de la consommation de carburant. Pour cela, il faut améliorer les rendements propulsifs, aérodynamique et structural des appareils, et aussi optimiser la

tion au sol. Enfin, la réduction des frais d'exploitation passe par la simplification de la maintenance de tous les éléments de l'avion, y compris les moteurs et les équipements de bord, grâce à une surveillance automatique par ordinateur et à une fiabilité accrue des composants.

Les technologies nouvelles concernent donc indiscutablement les quatre disciplines essentielles de l'aéronautique : l'aérodynamique, la propulsion, la structure et les systèmes automatiques. Comme nous

coûts, ou aux retards à la livraison...

Commençons par l'aérodynamique. La plupart des avions actuels ayant déjà un bon rendement aérodynamique, comment l'améliorer encore ? La réponse est illustrée sur la figure 3. L'objectif de l'aérodynamicien est de réduire la résistance à l'avancement de l'avion — sa « traînée » globale — en jouant sur ses deux termes principaux : celle induite par la sustentation de l'aile et celle due au frottement de l'air sur l'ensemble des parois de l'avion.

La traînée induite étant inversement proportionnelle à l'« allongement » de l'aile (c'est-à-dire au rapport de son envergure à sa profondeur moyenne), on a toujours cherché à augmenter cette envergure pour avoir un meilleur rendement aérodynamique. Cependant, on était limité par l'accroissement du poids de la structure de l'aile, nécessaire pour tenir les efforts. Ce n'est que dans les années 1970, qu'une solution élégante a été trouvée grâce aux profils transsoniques, dits « supercritiques », calculés sur ordinateurs. Sans avoir à réduire la vitesse limite de l'avion (apparition de troubles transsoniques), on était capable de dessiner des profils 40 % plus épais que les profils classiques employés jusqu'alors, ce qui permettait de loger à l'intérieur de l'aile une poutre (ou « longeron ») plus haute, donc plus légère, pour supporter les efforts de sustentation le long de l'envergure. L'introduction prochaine de matériaux composites à fibres de carbone dans la structure des ailes permettra de réduire encore le poids des futures ailes de grand allongement (c'est déjà le cas pour les meilleurs planeurs de performance). On est ainsi passé d'un allongement de sept pour les premiers avions à réaction à dix environ pour les plus récents avec une augmentation de « finesse » aérodynamique (fig. 3) de 15 % environ, ce qui accroît d'autant le rayon d'action et l'économie de carburant... Notons encore que l'on peut augmenter l'allongement « effectif » d'une aile existante en ajoutant de petites cloisons en bout d'aile (1,5 % de réduction de la consommation de carburant sur l'Airbus A-310-300 équipé de minuscules « winglets »).

#### Aérodynamique : des formes toujours plus pures.

La réduction de l'autre terme important de la résistance à l'avancement, le frottement; lié à la viscosité de l'air au contact des parois, est beaucoup plus difficile. Des recherches fondamentales sont toujours en cours dans deux voies : soit maintenir « laminaire » cette « couche limite » visqueuse sur une partie des surfaces, soit agir sur sa structure turbulente. La diminution potentielle de traînée de frottement grâce au maintien d'un écoulement laminaire local peut être considérable : de l'ordre de 10 à 30 % suivant les solutions adoptées (fig. 3). Le problème, dans les deux cas, est d'éviter la moindre imperfection de surface ou le simple écrasement d'un insecte, qui déclenche un sillage turbulent en aval (dans cette dernière situation, on prévoit de pulvériser à l'avant de l'aile un liquide pour nettoyer la surface...). Une solution hybride prometteuse, expérimentée actuellement en vol par la NASA, consiste à aspirer l'air sur l'avant de l'aile en matériaux poreux et à conserver un écoulement laminaire en aval par une forme adéquate du profil. Cette technique devrait pouvoir être appliquée dans les années 1990 sur les

avions de dimensions modérées afin d'avoir un écoulement laminaire important sur l'aile et les empennages (transport court-courrier ou régional, etc.).

En ce qui concerne le frottement turbulent, des expériences fondamentales ont montré que de minuscules obstacles noyés dans la « couche limite » à la paroi permettaient de réduire les échanges tourbillonnaires, donc le frottement. Cette approche serait particulièrement intéressante pour diminuer la traînée des longs

fuselages des avions de transport (ce frottement turbulent représente presque un quart de la traînée totale de l'avion). Comment améliorer encore le rendement des avions de transport ? Peut-être en simplifiant leur forme, telle la formule « aile volante » (fig. 2) que l'on peut faire voler en la maintenant instable grâce à son contrôle automatique (cf. plus loin).

On pourrait alors supprimer l'empennage et raccourcir le fuselage, d'où une réduction notable du frottement. L'aile

## 2 DU SUPER-CONCORDE À L'AVION TRANSATMOSPHÉRIQUE

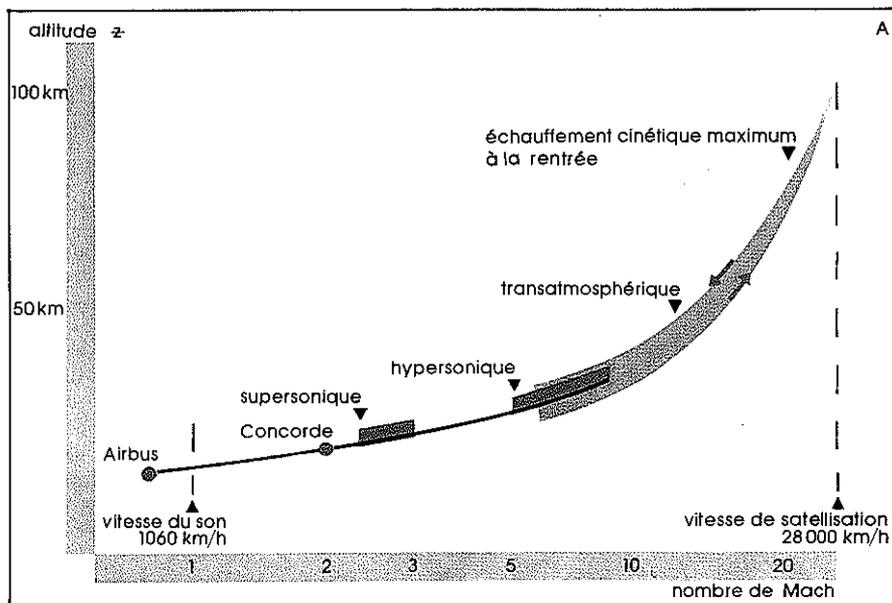
La plupart des futurs avions de transport voleront en deçà de la vitesse du son pour des raisons d'économie. Mais qu'en sera-t-il demain des avions supersoniques et hypersoniques ? En fait, atteindre une vitesse supersonique de croisière de l'ordre de 2 500 km/h n'est intéressant que pour des vols à très longue distance, couvrant entre 6 000 et 10 000 km (par exemple pour le transport transpacifique, plein d'avenir). Ces vols seraient effectués presque uniquement au-dessus de zones inhabitées, en raison du bang sonique (sa nuisance restera importante — et prohibée).

C'est surtout dans le domaine de la propulsion que les plus gros efforts de la faire, car la consommation des réacteurs de Concorde et leur nuisance acoustique autour des aéroports doivent être réduites. La solution existe sous forme du moteur à « cycle variable », fonctionnant en « turbo-fan » (voir texte), beaucoup plus économique, au cours des phases nécessairement subsoniques (montée, croisière à 1 000 km/h au-dessus des territoires habités, attentes et décollages, etc.), et en mode turbo-réacteur bien adapté pour la croisière supersonique (20 % de réduction de la consommation par rapport au Concorde actuel). Par ailleurs, un gain de 30 % sur le rendement aérodynamique en croisière est déjà acquis d'après des calculs confirmés par l'expérimentation en soufflerie. Quant au poids de la structure, sa réduction de plus de 30 % est prévisible grâce à l'emploi d'alliages de titane, bénéficiant de nouvelles techniques de fabrication (formage superplastique et soudure simultanée par diffusion) ; ces alliages supportent bien des températures de paroi pou-

vant atteindre 200 °C à Mach 2,7. Enfin, cet avion supersonique ne sera viable que si on y intègre l'ensemble des systèmes automatiques (CAG) disponibles au cours de la prochaine décennie (voir texte).

Comment sera ce futur « super-Concorde », déjà à l'étude aux Etats-Unis et en France ? Il aura une aile très élancée, un fuselage semi-noyé dans l'aile (fig. 2), pouvant loger 250 passagers environ pour des étapes de quelque 8 000 kilomètres parcourues à une vitesse de croisière de 2 300 à 2 900 km/h (Mach 2,2 à 2,7 environ) suivant les projets (A). Un tel avion mettrait Tokyo à 3 heures et demie de San Francisco, tout comme le Concorde actuel pour Paris et New York, mais dans des conditions économiques probablement compétitives avec un transport subsonique en première classe ! Cependant, son coût de développement élevé et sa faible production en série (marché mondial de l'ordre d'une centaine d'appareils) devraient imposer une coopération Europe/Etats-Unis, chacun apportant son savoir-faire d'ici la fin de ce siècle.

Mais au-delà de Mach 3, la vitesse dépassera beaucoup plus chère à mesure que l'on pénétrera dans le domaine des vitesses hypersoniques<sup>(1)</sup> (A), tout d'abord en raison d'un échauffement cinétique croissant (la température moyenne des revêtements est de l'ordre de 550° dès Mach 6). Cela nécessitera par exemple l'emploi d'alliages spéciaux à base de nickel, ou de parois refroidies. De plus, le système propulsif devra être entièrement repensé : le turbo-réacteur devenant totalement inadapte aux pressions et températures croissantes, il faut passer au « statoréacteur ». Son principe est



paissée et de grande envergure serait l'habitacle » (fret en conteneurs). Enfin, les propulseurs pourraient être intégrés à l'intérieur de l'aile d'où une moindre traînée parasite.

La plupart des gains liés à l'amélioration des formes des avions seront dorénavant obtenus par l'utilisation, sur des supercalculateurs, de méthodes d'optimisation de plus en plus élaborées, non seulement pour l'aérodynamique, mais simultanément pour la structure optimale — donc

légère — capable de supporter les efforts aérodynamiques. Le résultat de tous ces calculs apparaît immédiatement sur l'écran de la console liée à l'ordinateur (fig. 1A). Cependant, il sera toujours indispensable de valider ces prévisions par des essais aérodynamiques sur maquettes, dans des souffleries puissantes permettant de se rapprocher des conditions du vol, aussi bien en croisière (construction d'une soufflerie transsonique cryogénique européenne au début de années 1990 à Colo-

gne), qu'aux basses vitesses (cas de l'atterrissage sur la figure 1B).

Si l'efficacité aérodynamique d'un avion agit directement sur sa consommation en carburant, cette économie passe surtout par une meilleure efficacité de son système propulsif. Dans ce domaine, des progrès spectaculaires ont été obtenus depuis l'introduction, en 1955, des premiers réacteurs sur un avion de transport (le « Comet » anglais). La figure 4 illustre cette réduction de la consommation, liée à

port simple : il ne comporte plus qu'une prise d'air (dans laquelle l'air est comprimé par effet de vitesse), une chambre à combustion, et enfin une tuyère accélérant le flux propulsif. Il est bien adapté pour le vol de Mach 5 à 10 suivant la façon dont on assure la combustion d'un carburant, qui ne peut plus être à base de pétrole. En effet, étant donné la température très élevée de l'air capté, les carburants classiques doivent être remplacés par des carburants cryogéniques, probablement de l'hydrogène, qui sera stocké sous forme liquide, à  $-250^{\circ}\text{C}$ , dans des réservoirs très encombrants en raison de sa faible densité. L'hydrogène liquide a néanmoins deux avantages majeurs : son pouvoir calorifique est presque trois fois celui du kérosène et il permet de refroidir les parois de l'avion et du propulseur.

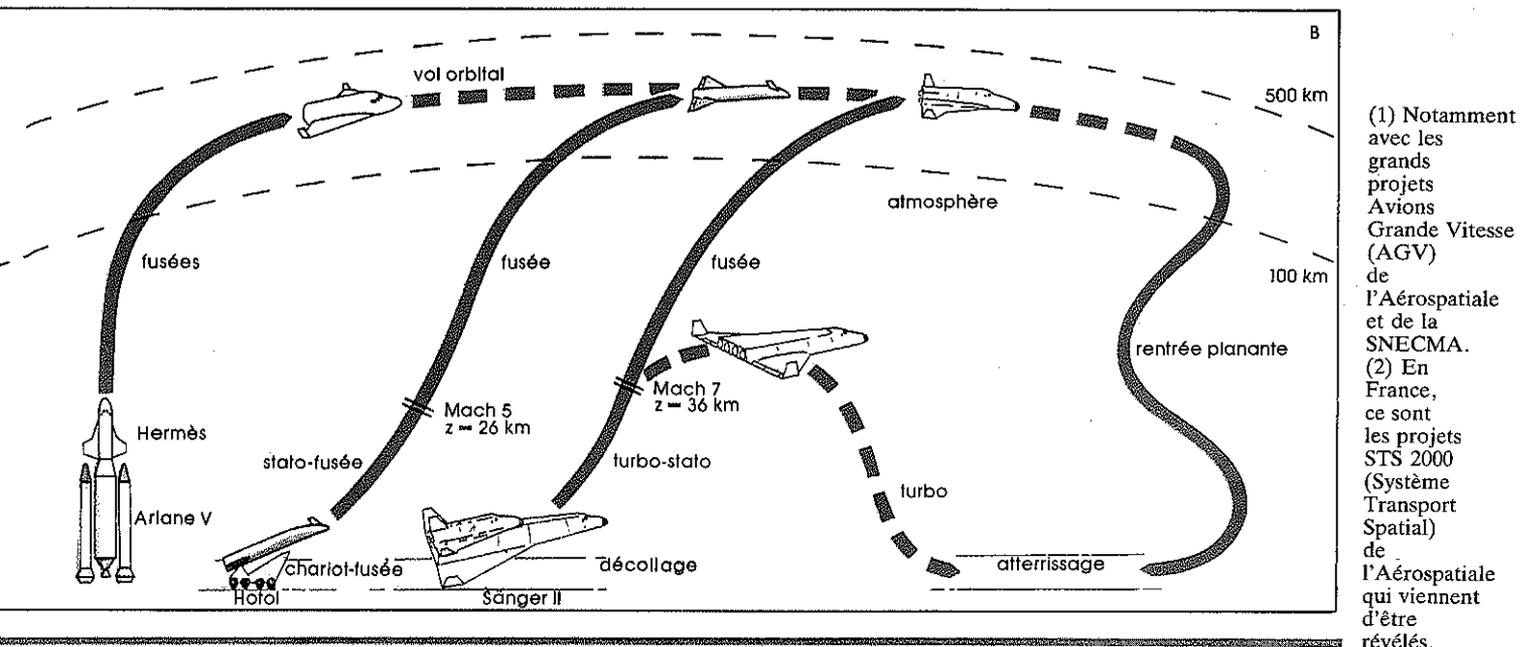
Si l'on veut poursuivre l'accélération du véhicule jusqu'à la vitesse de satellisation ( $V_s = 28\,000\text{ km/h}$ , environ Mach 25), en suivant un corridor de vol atteignant les limites de l'atmosphère, à quelque 100 kilomètres du sol (A), il faut remplacer l'oxygène de l'air par de l'oxygène stocké sous forme liquide. Celui-ci assure, avec l'hydrogène liquide, le fonctionnement d'une fusée, seule capable d'aborder le vide spatial (B). Comment installer à bord ces modes de propulsion successifs ? En les intégrant dans un moteur « hybride » extrêmement complexe, par exemple un turbo-stato-fusée, qui utilise alors un seul carburant : l'hydrogène liquide. Le mode turbo-réacteur sera utilisé depuis le décollage jusqu'à Mach 3 environ, puis l'avion volera en hypersonique en mode statoréacteur, en utilisant encore l'oxygène atmosphérique jusqu'à une altitude de 30 à 50 kilomètres

environ. Enfin, l'accélération finale, jusqu'à la mise en orbite, sera assurée par la fusée à deux liquides cryogéniques. Ici, le contrôle de l'avion nécessitera un pilotage par jets auxiliaires, puisque les gouvernes classiques deviennent inopérantes dans le vide.

Ce moteur hybride, intégré dans le fuselage de l'avion, représente l'une des configurations possibles pour un futuriste avion spatial « transatmosphérique » mono-étage, dont l'étude est en cours dans plusieurs pays<sup>(2)</sup> (B). Aux Etats-Unis, c'est le TAV (*Trans-Atmospheric Vehicle*), qui devrait suivre l'expérimentation en vol, dès 1995, d'un avion-laboratoire, le NASP (*National Aerospace Plane*, X-30), équipé d'un statoréacteur assurant sa propulsion depuis Mach 4 jusqu'à peut-être Mach 12 ! En Angleterre, c'est l'avant-projet HOTOL (*Horizontal Take-Off and Landing*), pour lequel on envisage un moteur hybride très complexe fondé uniquement sur le principe de la fusée à deux liquides cryogéniques. Mais comment faire décoller ces véhicules en économisant au maximum leur précieux carburant ? Le concept Hotol, par exemple (B), fait appel à un chariot propulsé par fusées jusqu'au largage en bout de piste, à plus de 500 km/h ! Une autre solution, plus facile sinon moins coûteuse à développer, est le combiné à deux étages : le premier est un avion presque classique à turbo-stato-réacteur, portant sur son dos un deuxième avion-fusée depuis le décollage jusqu'à son largage à Mach 6 et 36 kilomètres d'altitude. Le deuxième étage est alors accéléré par fusée hydrogène/oxygène liquides jusqu'à sa satellisation, tandis que l'avion porteur retourne à l'aéroport. Après

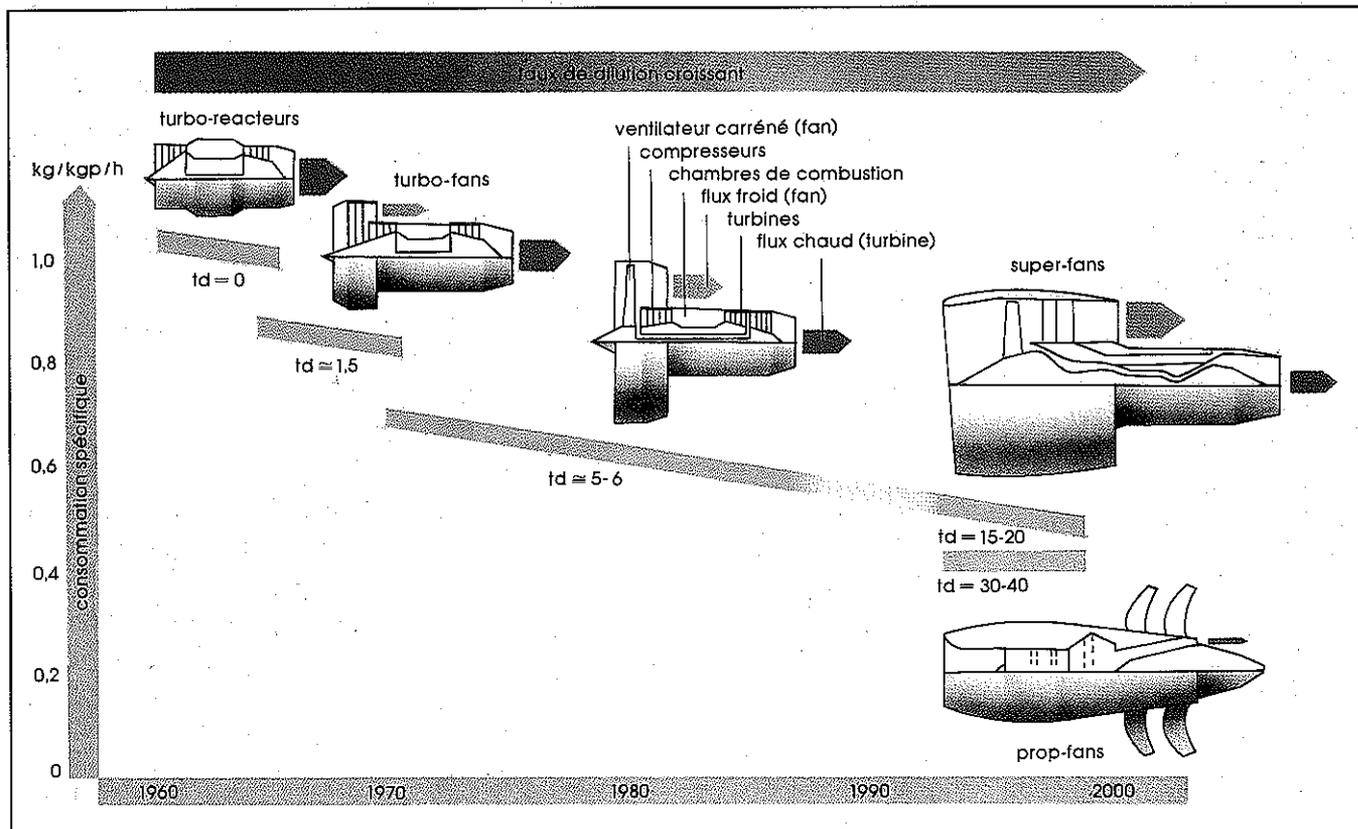
avoir accompli sa mission, le deuxième étage exécute une rentrée planante analogue à celle de l'actuel Orbiter de la NASA (ou des futurs projets HERMES, TAV ou HOTOL), avec les mêmes problèmes liés aux hypervitesses, c'est-à-dire des échauffements considérables : plus de  $1400^{\circ}$  devant le nez et les bords d'attaque des ailes (utilisation de composites carbone-carbone). Cette solution « gigogne » est actuellement étudiée par MBB en Allemagne, avec son projet « Sänger II » (B), qui présente plusieurs avantages. D'une part, la conception du deuxième étage pourrait bénéficier de l'expérience tirée du développement d'HERMES.

D'autre part, le premier étage pourrait devenir un futur transport hypersonique à Mach 5 ou 7, en intégrant une cabine de passagers sur le dos du fuselage. Cela nous ramène à nous demander quel est l'avenir d'un avion hypersonique, techniquement réalisable avant un quart de siècle. Il aura certainement une utilisation militaire, qui suivra l'expérimentation du X-30 américain, pour des interventions « globales » rapides, difficiles à intercepter. En revanche, sa mise en œuvre commerciale est plus discutable. Ses coûts de développement et d'utilisation seront énormes, le trafic restera faible sur des parcours peu nombreux, son ravitaillement difficile (car les carburants cryogéniques devront être stockés dans des aéroports dispersés), sa maintenance complexe et dangereuse... C'est vrai, il irait trois fois plus vite que Concorde, huit fois plus vite que l'Airbus (A), mais à quel prix ? Et pour aller où ? En fait, notre planète est peut-être trop petite... et il serait sage de n'utiliser les hypervitesses que pour s'en échapper !



(1) Notamment avec les grands projets Avions Grande Vitesse (AGV) de l'Aérospatiale et de la SNECMA.  
 (2) En France, ce sont les projets STS 2000 (Système Transport Spatial) de l'Aérospatiale qui viennent d'être révélés.

**L'ordinateur est désormais un membre à part entière de l'équipage de chaque avion.**



l'apparition, vers 1965, des réacteurs à « double flux ». Dans ces derniers, la poussée engendrée par le flux « froid » d'un ventilateur caréné (le « fan », entraîné par un étage de la turbine) devient prépondérante par rapport à la poussée du flux « chaud » traversant les compresseurs, les chambres à combustion et les turbines. En passant ainsi d'un « taux de dilution » (rapport flux froid/flux chaud) d'abord nul sur les « turbo-réacteurs », aux valeurs actuelles de 5 à 6 sur les « turbo-fans » en service, on a diminué la consommation de carburant de 40 % ! De plus, la réduction concomitante de la vitesse globale du jet propulsif (le flux froid étant rapide que le flux chaud) a permis une diminution considérable de la « pollution acoustique » subie par les riverains des aéroports, et du bruit à l'intérieur de la cabine des passagers. Ces avantages sont tels qu'on va même jusqu'à remotoriser des avions anciens, tels les Douglas DC-8 ou des dérivés du Boeing 737, avec les turbo-fans CFM-56 (SNECMA/General Electric), pour améliorer leur économie d'exploitation et satisfaire aux nouvelles normes de bruit, plus sévères.

#### Des propulseurs peu gourmands.

Peut-on encore augmenter les taux de dilution pour gagner quelques points sur le rendement de propulsion ? Deux voies sont actuellement en cours de développement : l'hélice transsonique « prop-fan » et le « superfan ». L'hélice avait été abandonnée en raison de la détérioration de ses performances pour des vitesses supérieu-



es à 550 km/h (Mach 0,5 environ). Mais, grâce aux progrès de l'aérodynamique transsonique », on sait maintenant dessiner des pales minces et en « flèche », permettant leur utilisation jusqu'à Mach 0,75-0,80, c'est-à-dire jusqu'à la vitesse de croisière des avions de transport actuels. Simultanément, l'introduction d'une structure en composites à fibres de car-

bone assure une rigidité adéquate à ces nouvelles formes. Enfin, le rendement de propulsion est amélioré grâce à des hélices dites « contrarotatives », à double rangée de pales tournant en sens inverse (voir « Avions : le retour de l'hélice ? » dans *La Recherche* de janvier 1987). Ce sera par exemple le mode de propulsion du futur Boeing 717 : les deux nacelles à hélices contrarotatives seront disposées à l'arrière du fuselage (fig. 2) afin de minimiser la nuisance acoustique pour les passagers et réduire les risques liés à une rupture de pale. Ce propulseur baptisé UDF (*Unducted fan*, pour ventilateur non caréné, de General Electric/SNECMA) a déjà été expérimenté en vol, au début de 1987, au-delà de Mach 0,8. Il devrait être opérationnel en 1992, avec un gain annoncé de 20 % sur la consommation de carburant par rapport aux turbo-fans contemporains.

L'autre voie de recherche est celle des « superfans », dans lesquels l'hélice rapide n'est plus « nue », mais carénée. Cependant, l'augmentation de son diamè-

tre, et donc du taux de dilution du propulseur, est alors limitée par le poids et l'encombrement de cette enveloppe protectrice, ainsi que par la présence d'un lourd réducteur de vitesse de rotation entre l'hélice et la turbine. Plusieurs projets sont en cours de développement (dont le superfan V-2500 du Consortium international IAE), ayant un taux de dilution trois fois plus élevé et consommant environ 10 % moins de carburant que les turbo-fans. Ils seront opérationnels vers le milieu des années 1990.

L'amélioration des réacteurs passe aussi par l'augmentation de leur rendement thermodynamique, c'est-à-dire par l'accroissement simultané de la pression et de la température internes. Par exemple, ce rendement augmente de 20 % environ lorsque simultanément le rapport de pression dans le compresseur passe de 20 à 40 et la température devant les turbines de 1 100 à 1 400 °C. (Ces valeurs correspondent respectivement aux technologies des années 1960 et 1980.) Ici encore, les nouvelles méthodes de calcul aérodynamique

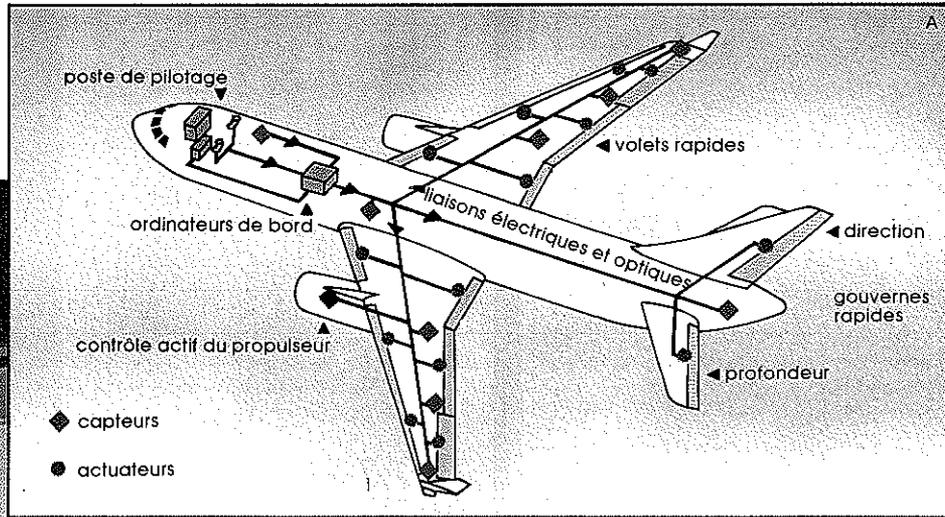
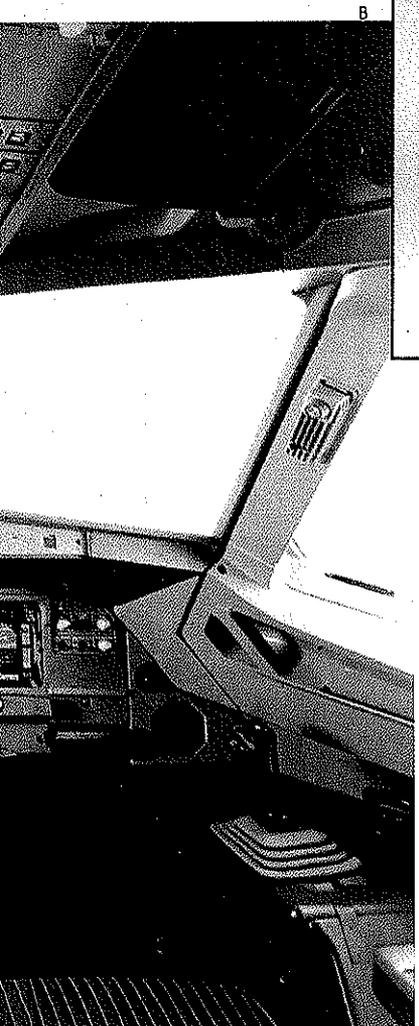


Figure 5. L'implantation à bord des avions de transport du « contrôle automatique généralisé » ou CAG, réseau de commandes électriques reliant le pilote et les gouvernes au travers d'ordinateurs embarqués dûment programmés (A), va révolutionner la conception de ces avions. En effet, il deviendra ainsi possible d'agir automatiquement pour optimiser leurs caractéristiques aérodynamiques et pour réduire les contraintes structurales auxquelles ils sont soumis. Mais leur exploitation s'en trouvera aussi transformée, puisque la conduite du vol, la régulation de la propulsion ou encore la surveillance de l'intégrité des éléments de l'avion seront automatisés. Quant au poste de pilotage (B), ici celui du nouvel Airbus A-320, il s'en trouvera sensiblement amélioré. Sur la nouvelle présentation du tableau de bord, les dizaines de cadrans peu lisibles seront remplacés par quelques larges écrans cathodiques en couleur qui fourniront clairement des informations élaborées et sélectionnées par les ordinateurs : données essentielles du vol, navigation programmée, situation météorologique, mais aussi état de l'ensemble des équipements de l'avion. Toutes ces informations concourent à une meilleure sécurité du vol et à une économie sensible sur la maintenance de l'avion. Enfin, l'introduction de commandes électriques permet l'utilisation de « mini-manches » latéraux pour le pilotage. (Cliché Airbus Industries)

permettent de dessiner des aubages de compresseurs et de turbines très performants. La diminution du nombre d'étages et du diamètre des turbines et des compresseurs entraîne en outre un gain de poids. Par ailleurs, on développe actuellement de nouveaux matériaux, spécifiquement optimisés aux sévères conditions de tenues thermique et mécanique des aubages : superalliages à structure monocristalline, céramiques, etc. Ces matériaux bénéficient de procédés de fabrication nouveaux, comme la coulée en forme définitive comportant des canaux internes de refroidissement par « suage », etc. Enfin, pour l'ensemble de ces propulseurs, mentionnons un saut technologique majeur : l'introduction de leur régulation électronique, permettant d'optimiser automatiquement leur régime au cours du vol pour minimiser la consommation de carburant. Nous verrons plus loin que c'est là un des aspects de la gestion active du vol par les ordinateurs de bord.

L'optimisation structurale d'un avion

## EDITIONS TECHNIP

27, rue Ginoux  
75737 Paris Cedex 15  
Tél. : 45.77.11.08



### GEOPOLITIQUE DU PETROLE ET DU GAZ

A. GIRAUD, X. BOY de la TOUR  
1 vol., relié, 17 × 24, 440 p. 285 F

### NOUVEAUX PETROLES : QUEL AVENIR ?

X. BOY de la TOUR, J.L. GADON, J.J. LACOUR  
1 brochure, 21 × 29,7, 62 p. 56 F

### GUIDE DU PETROLE. Offshore. Gaz. Pétrochimie 1987, 56<sup>e</sup> année

1 vol., relié, 21 × 28,5, 460 p. 895 F

### ELEMENTS DE MICROECONOMIE

F. GUYOT  
1 vol., relié, 17 × 24, 316 p. 260 F

### THEORIES ET METHODES DE LA STATISTIQUE

G. SAPORTA  
1 vol., broché, 17 × 24, 388 p. 210 F

### CORPS SEDIMENTAIRES. Exemples sismiques et diagraphiques

1 vol., relié, 21 × 29,7, 356 p. 480 F

### LES REACTEURS CHIMIQUES. Conception, calcul et mise en œuvre

P. TRAMBOUZE, J.P. WAUQUIER, H. VAN LANDEGHEM  
1 vol., relié, 17 × 24, 672 p. 980 F

### LES REACTEURS CHIMIQUES. Recueil d'exercices

P. TRAMBOUZE, J.P. WAUQUIER, J.P. EUZEN  
1 vol., relié, 17 × 24, 222 p. 210 F

### CARBURANTS ET MOTEURS

J.C. GUIBET  
Tome 1 : 1 vol., relié, 17 × 24, 568 p. 680 F  
Tome 2 : 1 vol., relié, 17 × 24, 424 p. 520 F

### LES THERMOPLASTIQUES DE GRAND TONNAGE.

Caractéristiques techniques et économiques  
J.P. ARLIE  
1 vol., relié, 17 × 24, 124 p. 130 F

passé aussi par le développement de méthodes de calcul élaborées (telle la décomposition en « éléments finis »), faisant appel aux supercalculateurs, afin de « mettre juste ce qu'il faut » de matière au bon endroit. En outre, un meilleur rendement structural est directement lié à une réduction de la masse des différentes pièces de l'avion, grâce à une gamme étendue de matériaux nouveaux ou améliorés. On comprend qu'ils fassent l'objet de nombreuses recherches fondamentales et appliquées, avant d'être validés « bons de vol » sur des avions de transport devant assurer quelque 50 000 heures de vol sur plus de vingt-cinq ans ! On comprend également l'importance attachée au comportement de ces matériaux au cours de leur vieillissement (dû à la fatigue, à la corrosion, aux chocs répétés, etc.). Enfin, aux notions de « gain de masse » et de « sécurité », vitales en aéronautique, il faut ajouter des considérations essentielles pour le constructeur (puis pour l'acheteur), liées au prix de la matière première, et surtout aux coûts de fabrication.

bueront, à l'aube de l'an 2000, à une spectaculaire réduction de la masse structurale des avions : de l'ordre de 30 % en vingt ans ! Or on estime que, sur un gros avion, une diminution d'un kilogramme de masse entraîne un gain annuel de 120 litres de carburant...

Les composites ont été progressivement adoptés, depuis les années 1960, pour la fabrication de pièces faiblement chargées de l'avion, c'est-à-dire non critiques en cas de dégradation. Cependant, c'est l'introduction des fibres de carbone qui a permis d'atteindre à la fois de grandes résistances et des rigidités rendant ce type de matériaux apte à la fabrication de structures plus « vitales ». Bien que les fibres de carbone soient encore chères, les gains en poids et en coût de fabrication qui en résultent sont spectaculaires. Par exemple, l'empennage vertical des Airbus A-310, en fibre de carbone, pèse 22 % de moins (140 kilogrammes) que celui d'origine, en alliage léger, et il est composé de 96 pièces seulement au lieu de 2072 ! A l'avenir, on pense généraliser leur emploi pour la

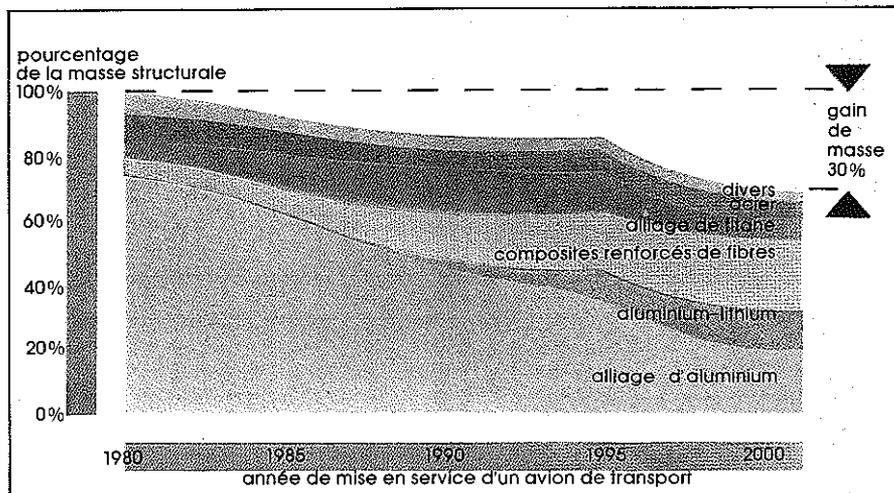


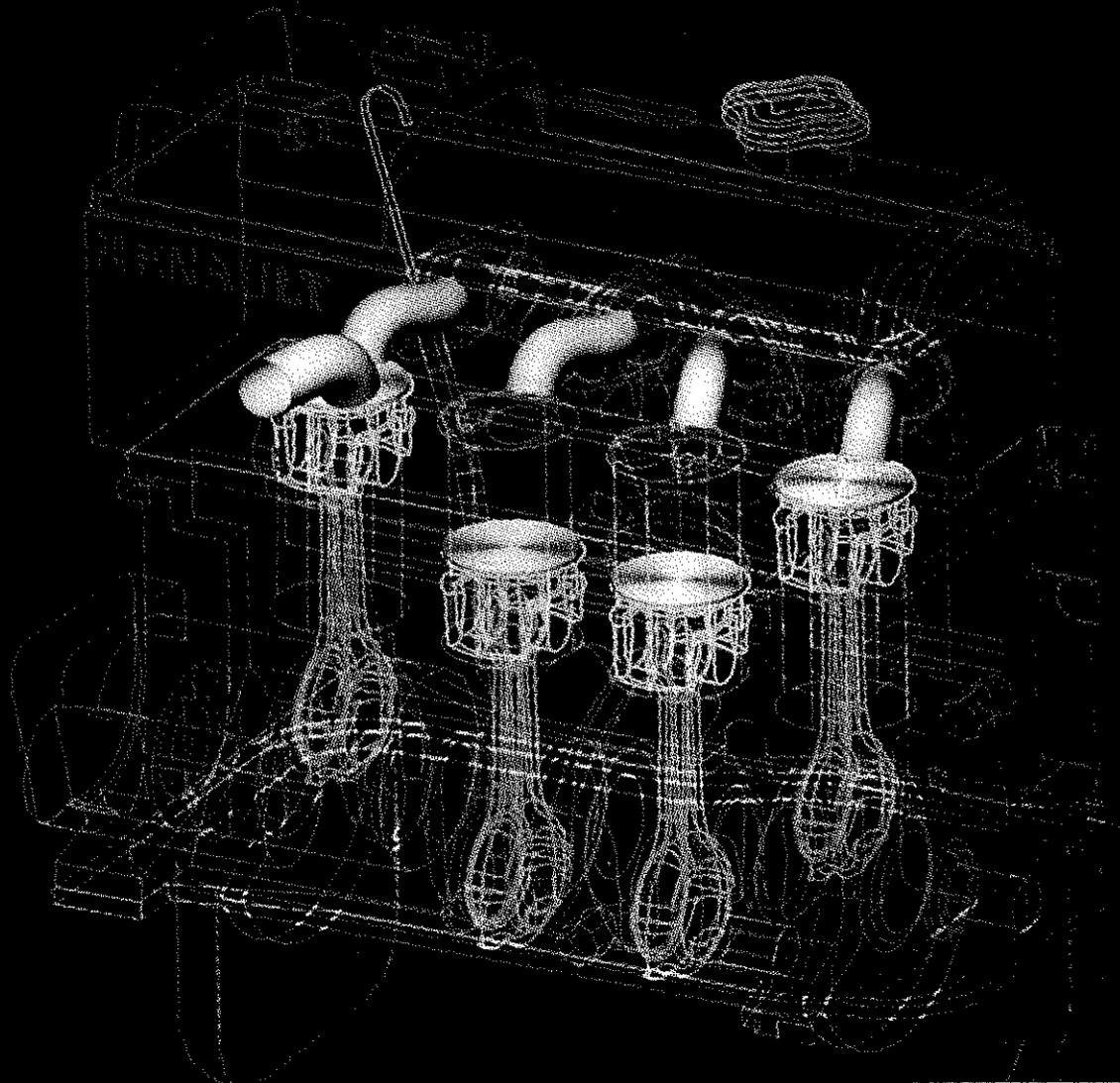
Figure 6. L'allègement de la structure des avions est un critère économique majeur. L'utilisation progressive de matériaux composites à base de fibres (en jaune) dans certaines parties secondaires des avions (portes, carénages, gouvernes), puis dans des structures « primaires », soumises à des contraintes mécaniques sévères (empennages, ailes, fuselages pressurisés), va permettre de réduire non seulement la masse à vide des avions, mais aussi leur temps de fabrication, et donc leur coût. Cependant les alliages légers à base d'aluminium (en bleu) n'ont pas dit leur dernier mot. Par exemple, l'aluminium-lithium (en mauve) permet un allègement d'environ 10 % et une amélioration des caractéristiques mécaniques des pièces. Enfin, on assistera aussi à une utilisation accrue des alliages de titane (en vert), grâce au développement de procédés de fabrication de pièces complexes d'un seul tenant, adaptés à ces matériaux. Cela entraînera un gain spectaculaire de poids et une diminution considérable des coûts de fabrication pour les éléments soumis à des contraintes structurales ou thermiques sévères. En fait, les deux approches — composites et alliages métalliques — sont complémentaires. Les recherches intensives poursuivies sur tous ces matériaux nouveaux font espérer un gain de 30 % sur la masse structurale des avions de transport subsoniques d'ici l'an 2000 !

Nous allons assister, dans les prochaines décennies, à la phase décisive de la compétition engagée actuellement entre matériaux composites et alliages légers améliorés. Cela apparaît clairement sur la figure 6, qui prédit l'évolution probable de l'utilisation des différents matériaux en aéronautique. On constate une percée des composites à base de résine renforcée par des fibres (verre, « kevlar », carbone, etc.), suivie dès maintenant par l'introduction d'un alliage aluminium-lithium. Ces deux approches complémentaires contri-

structure des ailes, puis du fuselage. Un autre avantage majeur des composites est leur excellente tenue à la fatigue vibratoire.

Le compétiteur futur des composites est l'alliage d'aluminium et de lithium, qui a une densité 10 % moindre que les alliages d'aluminium actuels (pour une proportion de 3 % de lithium), une rigidité 20 % supérieure, et une meilleure résistance à la fatigue mécanique. En remplaçant — pièce par pièce — des éléments de structure, on espère gagner environ 10 % sur

suite page 15



# Notre technologie? Du futur au présent.

Construire des moteurs de plus en plus fiables, de plus en plus performants.

Utiliser des matériaux nouveaux : les matériaux composites, légers, souples et résistants à la fois, et des céramiques anti-frottements pour leur dureté, leur résistance à l'usure, leur très bonne tenue à haute température.

Développer la technologie Turbo pour son punch et pour son rendement.

Doter les moteurs de l'allumage et de l'injection électronique intégrale

RENAULT, qui garantissent une optimisation énergétique, donc une économie de carburant.

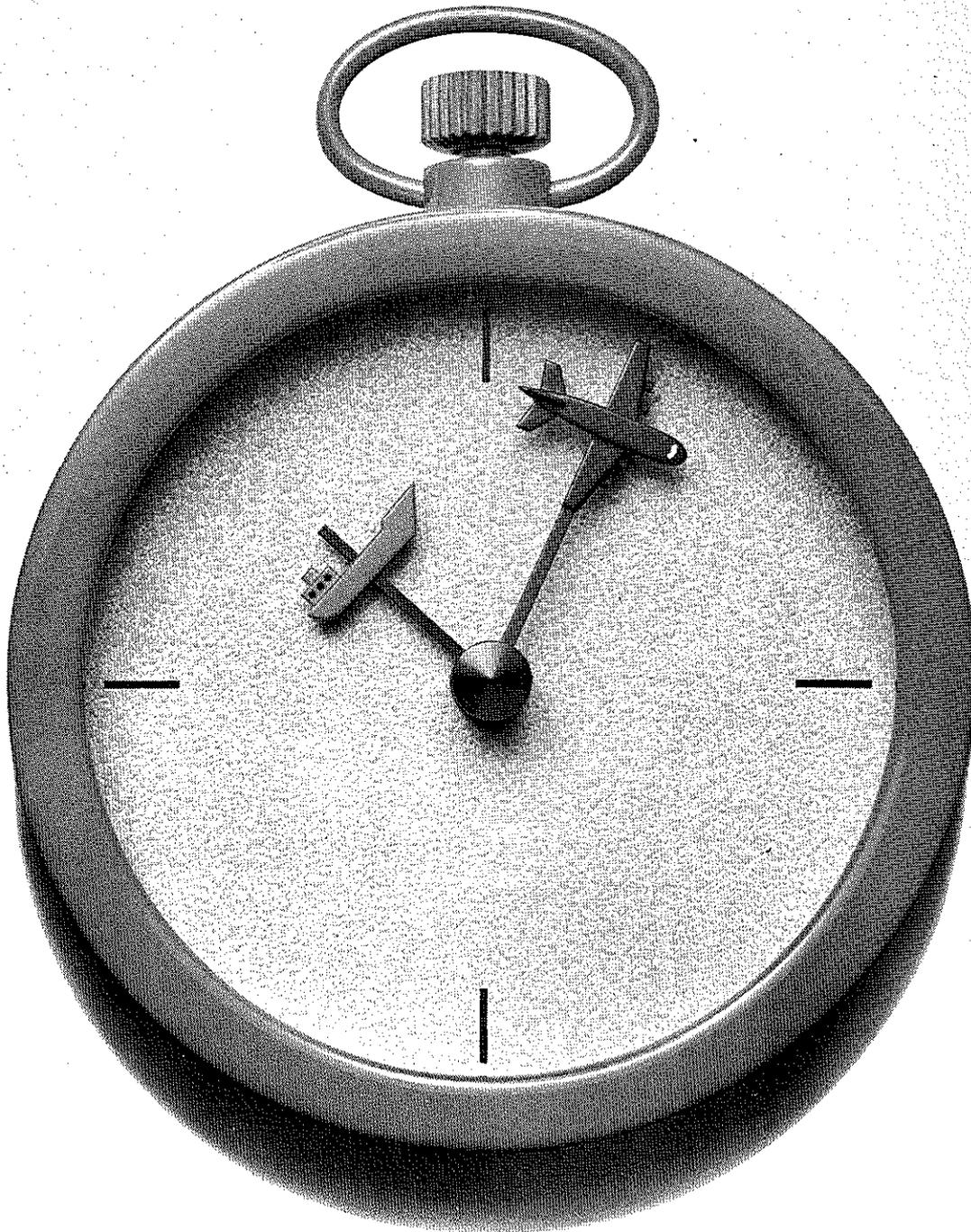
Accorder une place de plus en plus importante à l'électronique.

C'est cela, conjuguer le futur au présent : c'est être à l'avant-garde de la technologie de demain, et faire profiter nos voitures, dès aujourd'hui, des recherches de nos laboratoires ; avec un but, un but essentiel, améliorer concrètement, quotidiennement, la vie de l'automobiliste.

Technologie de pointe, c'est aussi une technologie à vivre.

# RENAULT

**DIRE QUE CERTAINS SE DEMANDENT ENCORE  
COMMENT FAIRE TOURNER LEUR STOCK 10 FOIS PLUS VITE.**



Tout bon gestionnaire le sait: l'idéal, en matière de stock, serait de ne pas en avoir. L'immobilisation financière, les frais de gestion et de garde font qu'une marchandise atteint vite des prix prohibitifs.

Voilà pourquoi de plus en plus de frêt transite par la voie aérienne. Le stockage n'étant plus nécessaire, le frêt aérien devient compétitif.

Chaque semaine, 37 vols UTA Cargo, assurés par des Boeing 747 300 combi ou tout cargo, desservent 29 villes d'Afrique, garantissant une souplesse, une

précision et une régularité incomparables dans l'acheminement des marchandises. Il y a ceux qui le savent, ceux dont les stocks tournent à la vitesse des 747 d'UTA Cargo. Et, il y a les autres, qui feraient bien de remettre leur trésorerie à l'heure.

Consultez votre transitaire habituel ou UTA Cargo.

**UTA CARGO**

**UTA CARGO. NOUS EMPECHONS VOTRE ARGENT DE DORMIR.**

ur masse. Le grand avantage des alliages r les composites à fibres est qu'ils peu- ent être usinés par des procédés de fabri- cation existants, alors que la production industrielle de grandes pièces en composit- s nécessite des investissements considé- bles.

avion automatique ?

Terminons ce bref survol des technolo- gies futures applicables au transport aérien en insistant sur l'approche « systè- mes automatiques », qui va se généraliser aussi bien au niveau du constructeur que de l'utilisateur des avions. Les ordinateurs sont désormais omniprésents, intégrés successivement dans le processus de conception (CAO), de fabrication (FAO), puis de gestion de vol. Dans ce dernier domaine, celui du contrôle automatique généralisé (CAG), le pilote va devenir un véritable gestionnaire, parfaitement au fait de l'état de sa machine et de l'environnement extérieur (conditions météorolo- giques à long terme et immédiate, situa- tion du trafic proche et risques de collision, etc.), c'est-à-dire de tous les dangers potentiels. On lui demandera aussi une technicité élevée pour suppléer immédiatement à toute défaillance de ces systèmes automatiques.

Contrairement aux avions « clas- ques » actuels, il n'y aura plus, sur l'avion « CAG », de liaisons directes, mécaniques ou hydrauliques, entre le pilote et les gouvernes, mais un réseau de liaisons électriques (fig. 5). Ces liaisons seront doublées, dans l'avenir, par des fibres optiques, assurant une meilleure sécurité par effet de « redondance dissem- blable ». Les fibres optiques sont en effet insensibles aux perturbations provenant de l'environnement, tels l'électricité sta- que, la foudre ou le rayonnement élec- tromagnétique.

Ces liaisons permettront d'acheminer vers des calculateurs non seulement des ordres provenant du pilote, mais aussi des informations fournies par des capteurs de vitesse, d'attitudes de l'avion, de contrain- tes structurales, d'accélération liées à la turbulence, etc. Les calculateurs program- més interpréteront les données et trans- mettront les instructions adéquates aux vérins électrohydrauliques rapides com- mandant la position des différentes gou- vernes de pilotage. Lorsque, à leur tour, ces relais hydrauliques seront remplacés — peut-être — par des moteurs électriques légers et légers (grâce à de nouveaux aimants au samarium), reliés directement aux gouvernes, ce sera l'ère de l'avion « tout électrique » !

L'interface pilote-machine étant ainsi profondément modifiée, il est essentiel de fournir à l'équipage des informations sélectionnées concernant la phase de vol en cours. Celles-ci sont élaborées par les calculateurs et apparaissent sur de larges écrans cathodiques en couleurs — et bientôt sur écrans plats, moins encom- brants. On peut y faire figurer toutes les

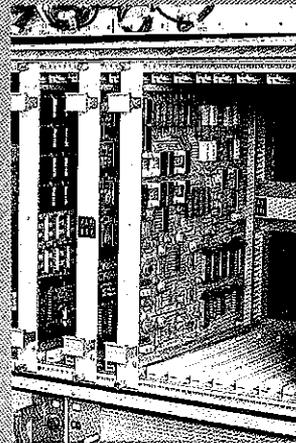
# FAIVELEY

## PARTENAIRE DU PROGRÈS, PARTENAIRE DU SUCCÈS,

PROPOSE DES SYSTEMES EMBARQUES  
POUR BUS, TRAMWAYS, METROS  
ET CHEMINS DE FER



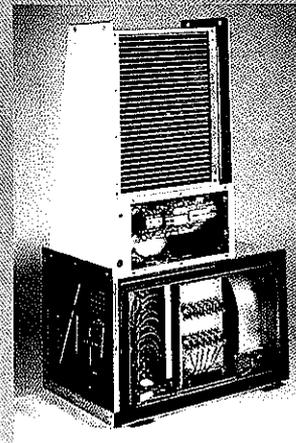
CAPTAGE  
DE COURANT



ELECTRONIQUE  
EMBARQUEE



SYSTEMES  
DE PORTES



CLIMATISATION

FAIVELEY, LE PARTENAIRE DES VOYAGEURS  
INTERNATIONAUX



FAIVELEY

FAIVELEY S.A. - 100, AVENUE DE LA LIBERTE - 92100 CLAMART - FRANCE  
TELEPHONE (1) 47 40 00 00 - TELEFAX (1) 47 40 00 00

# Les transports urbains



par Jean-Paul Perrin et Jean-Pierre Pascal

**A** la fin des années soixante, la situation était critique pour les transports urbains publics. Jugés souvent vétustes ou inconfortables, lents ou difficiles d'accès, ils étaient boudés par la majorité des citoyens qui leur préféraient l'automobile. Dès cette période, un important effort de recherche, de réflexion et d'innovation a été mis en œuvre en Europe, aux Etats-Unis et au Japon notamment, pour offrir une alternative convenable à l'utilisation souvent abusive de la voiture particulière.

Le début des années 1970 vit alors apparaître le concept de *Personal Rapid Transit* (PRT), lancé par les Américains. Le transport public devait parvenir aux mêmes qualités de confort et de disponibilité que le transport privé, sans les inconvénients coûteux pour l'utilisateur et pour la collectivité que sont la congestion de la voirie urbaine, la pollution atmosphérique

ou les accidents. De là naquirent des projets très ambitieux, où le système de transport public était capable de répondre à la demande personnalisée de chaque voyageur. Cette idée d'« offre personnalisée de transport » se traduit de la façon suivante : le voyageur arrive dans une station où un véhicule l'attend, il commande sa destination et le système prend en charge son transport sans arrêt jusqu'à la station désirée.

C'est ainsi que sont nés notamment le système réalisé par la société Boeing pour la petite ville de Morgantown aux Etats-Unis et le système Airtrans qui fonctionne à l'aéroport de Dallas-Fortworth. Mais le seul véritable rescapé de cette épopée est le système français Aramis conçu et développé par la société Matra Transport, avec le concours de la RATP (fig. 1). L'idée de PRT s'est en effet heurtée aux réalités économiques, et aux difficultés techniques

d'exploitation et de gestion de tels systèmes. Elle a néanmoins mis les exploitants et les constructeurs de matériels sur la voie des automatismes. On a ainsi vu apparaître dans les métros classiques récents, tels ceux de Lyon, Marseille, Vienne, Mexico, Washington, Hong-Kong ou dans les métros rénovés comme à Paris, des postes de commande et de contrôle centralisés qui permettent à un seul opérateur de gérer une ligne de métro à partir de pupitres et de consoles. La vente et le contrôle automatiques des titres de transport sont devenus monnaie courante et le pilotage automatique n'est la plupart du temps pas remarqué par le voyageur.

Parallèlement, des recherches sur la sustentation et le guidage, et sur la propulsion électrique par moteur linéaire, permettent d'envisager l'avenir avec optimisme. Nous disposerons demain d'une génération de systèmes de transports

# automatiques de demain

**A bord de quel métro monterons-nous en l'an 2000 ? Le VAL français, déjà installé à Lille et prévu pour Toulouse en 1992, ou encore le système expérimental Aramis montrent dès aujourd'hui la voie : le métro fera massivement appel à l'automatisation. Celle-ci, très vite apparue dans les systèmes de vente et de contrôle des billets, va entrer en force dans les cabines de pilotage. Grâce à l'informatique, elle devrait alors rendre le métro plus sûr, plus régulier et plus facile à entretenir. Mieux encore : pour être toujours plus performante, l'automatisation oblige à réfléchir à de nouveaux modes de propulsion, de sustentation et de guidage. Ainsi, depuis plusieurs années déjà, des véhicules à sustentation magnétique, tels que le Magnét-Bahn allemand, sont en expérimentation. Pour avoir une idée du métro que nous emprunterons demain, suivons donc Jean-Paul Perrin et Jean-Pierre Pascal, qui font ici le point en matière de transports urbains automatiques.**

urbains automatiques, confortables et sûrs qui s'intégreront dans l'environnement avec esthétique et discrétion.

De façon schématique, le fonctionnement d'une ligne de transport ferroviaire comprend la conduite en sécurité des trains et la gestion des rames. L'automatisation, qui intervient à ces deux niveaux, permet d'augmenter le débit des lignes, c'est-à-dire le nombre de trains, donc de places offertes par heure. La majorité des métros actuels fonctionnent avec une conduite manuelle, le cas échéant contrôlée par des installations de sécurité au sol et aidée par des informations transmises par un poste central. C'est le cas des métros de New York, Tokyo, Moscou ou Madrid par exemple. L'automatisation intégrale quant à elle, grâce à laquelle les trains roulent sans conducteur, est aujourd'hui possible pour un surcoût d'investissement raisonnable. Elle permet de réaliser des économies d'exploitation et autorise une meilleure « flexibilité » de l'offre de transport, notamment aux heures creuses ou lorsqu'il s'agit de faire face à des circonstances exceptionnelles.

Le VAL, métro léger automatique de Lille, a fait la démonstration de toutes ces



Figure 1. Le système français de transport Aramis, que l'on voit sur la photo de gauche, est une illustration des progrès réalisés depuis vingt ans en matière d'automatisme dans les transports urbains publics. Il est composé d'unités de base automotrices comprenant deux véhicules, appelées doublets, que l'on distingue bien ici et fonctionnant sans pilote à bord. Devant être qualifié en 1988, il a reçu pour son développement le concours de la Régie autonome des transports parisiens (RATP). Sa conception par Matra remonte au début des années 1970, date à laquelle les exploitants et les constructeurs de matériels se sont mis sur la voie des automatismes.

L'automatisation, qui intervient aussi bien au niveau de la conduite en sécurité que de la gestion globale du réseau, apparaît ainsi aujourd'hui comme une tendance irréversible. La question qui se pose alors, est celle de l'automatisation intégrale des métros classiques, lors de la création de lignes nouvelles ou dans le cadre de leur modernisation. (Cliché Matra)

Figure 2. L'automatisme intégral du mouvement des trains suppose un poste central qui permette le contrôle de la circulation, des équipements et des voyageurs. Les opérateurs bénéficient d'informations visualisées sur écrans, tels ceux que nous voyons sur le poste de commande centralisé (ci-dessus) qui équipe le système français Aramis, actuellement sur son centre d'expérimentation technique à Paris. Les postes de contrôle modernes sont déjà équipés de terminaux informatiques qui assistent les opérateurs dans le suivi et la progression des véhicules par rapport à leur marche théorique. Les postes de l'an 2000 bénéficieront très largement de systèmes experts, ces outils informatiques qui simulent le raisonnement d'un expert. Ces systèmes interviendront aussi bien au niveau de la gestion de la circulation, que de l'aide à la maintenance. Des systèmes experts de diagnostic de panne sont déjà expérimentés pour le métro parisien. (Cliché RATP)

qualités depuis sa mise en service en 1983. Et si l'on jette un œil sur les réalisations mises en œuvre depuis 1980, et sur les projets à l'étude tels que mini-métros et navettes automatiques japonais, américains ou canadiens ou le futur VAL de Toulouse en France, on peut considérer qu'il s'agit là d'une tendance irréversible : les systèmes installés demain seront automatiques !

### Des microprocesseurs veillent.

La question qui se pose alors est celle de l'automatisation intégrale des métros classiques soit à l'occasion de la création de nouvelles lignes, soit dans le cadre de modernisation. Les métros de Berlin et de Hambourg ont fait des expériences dans ce sens au cours des cinq dernières années. Ceux de Lyon avec la ligne D en cours de construction et de Paris à titre expérimental sur une petite ligne de trois kilomètres — ligne 7 bis — Louis Blanc — Pré-Saint-Gervais — vont ouvrir définitivement cette voie.

Les systèmes de protection des circulations ferroviaires font appel à des processus binaires : voie libre ou occupée, aiguillage à droite ou à gauche, signal ouvert ou fermé... Les premières réalisations, il y a cinquante ans, étaient à base de relais électromagnétiques. Ces organes, bina-

ils sont encombrants ; les dispositifs obtenus sont rigides ; leurs temps de réponse élevés ne se prêtent pas à la réalisation d'automatismes performants.

La puissance et la flexibilité des traitements informatiques ne pouvaient donc que séduire les concepteurs, et on assiste depuis quelques années à un fourmillement d'approches de la sécurité, au travers de dispositifs utilisant des microprocesseurs. Ici, la difficulté majeure est de faire la preuve de la sécurité de ces agencements vis-à-vis des deux aspects suivants. Il faut d'une part prendre en compte les pannes matérielles, car l'utilisation de composants intégrés complexes ne permet plus l'approche simple de la sécurité intrinsèque utilisée pour des circuits à relais. D'autre part, il faut considérer les défauts ou pannes de logiciel dont la réalisation doit suivre des règles strictes d'organisation et de modularité, cette dernière étant l'organisation en petits éléments fonctionnels.

C'est ainsi qu'en Grande-Bretagne, en Suède, en RFA ou en France, diverses conceptions d'unités de calcul sécuritaires sont en compétition. Toutes les pannes possibles ne pouvant être cernées, il est fait appel à des ensembles de deux ou trois microprocesseurs, travaillant en parallèle sur des programmes identiques ou différents et dont les sorties sont comparées par un organe comparateur utilisant deux

comme c'est le cas pour British Railways, les Chemins de fer suédois, la SNCF à titre expérimental, ainsi que sur des automatismes de conduite, à l'image des systèmes Siemens ou Lorentz. La filière dont le développement vient de s'achever en France, et qui a été retenue pour les années à venir, est cependant plus subtile et présente, par rapport aux réalisations que nous venons d'évoquer, l'avantage d'une meilleure adaptabilité aux diverses technologies pouvant être mises en œuvre.

L'information, pour être protégée contre les erreurs qui pourraient être dues à des défauts électriques, est en effet codée avec une redondance élevée — 48 bits pour 24 utiles — au moyen d'un code arithmétique. La valeur codée est obtenue en multipliant la donnée par un nombre de référence ; est ensuite ajoutée une valeur caractéristique, du type de variable appelée reste, et une date, permettant ainsi de vérifier le rafraîchissement de l'information. Ce traitement a lieu dans un seul microprocesseur, d'où la dénomination de monoprocasseur codé, et un processus de combinaison des restes est associé à chaque opération. Son résultat peut être prévu à l'écriture du programme, et est stocké dans des mémoires permanentes. La vérification consiste alors à comparer, dans un contrôleur conçu en sécurité intrinsèque, les restes obtenus après déroulement du programme quand on décode le résultat, et ceux qui sont en mémoire. Le niveau de sécurité atteint est très élevé et présente l'avantage de pouvoir être en partie calculé mathématiquement. Le véhicule Aramis (encadré 1), le SACEM (système d'aide à la conduite, à l'exploitation et à la maintenance) de la ligne A du RER qui sera mis en service courant 1988 (encadré 2), le système d'automatisation intégrale du mouvement des trains de la ligne D du métro de Lyon en 1990 et du VAL de seconde génération qui est prévu pour Toulouse en 1992 bénéficieront de cet état de l'art.

### Le temps des systèmes experts.

Les conséquences de l'automatisation se sont faites sentir également au niveau de la disponibilité. Pour le voyageur, la disponibilité d'un système de transport se définit comme l'aptitude à trouver un véhicule au moment souhaité, amenant à la destination voulue en un temps de trajet connu. Les postes de contrôle de l'exploitation moderne sont déjà assistés par des ordinateurs permettant le suivi de la progression des véhicules par rapport à leur marche théorique, et assurant le respect des normes de sécurité. Ces informations sont présentées aux opérateurs pour leurs prises de décision (fig. 2).

Les postes de l'an 2000 bénéficieront très largement de l'assistance de systèmes experts déjà utilisés aujourd'hui. Il s'agit de systèmes informatiques permettant de simuler le raisonnement d'un expert : ces systèmes interviendront au niveau de la gestion de la circulation des trains, en pro-

suite page 23

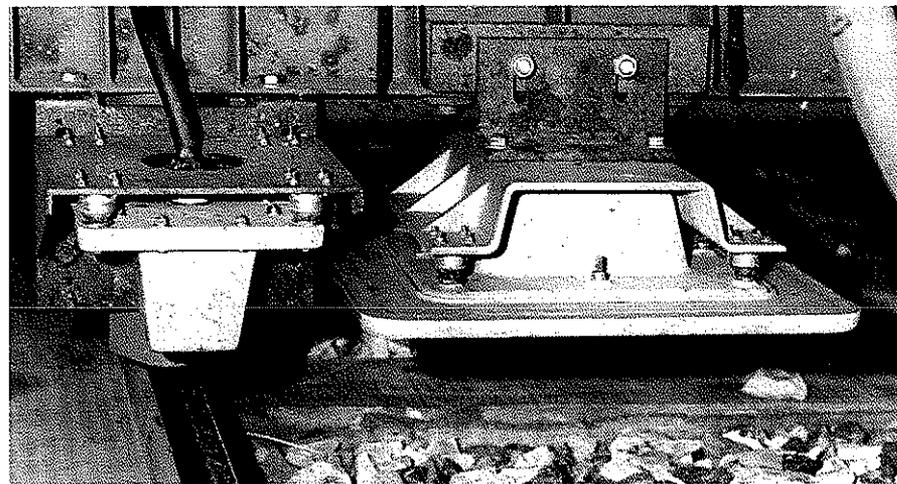


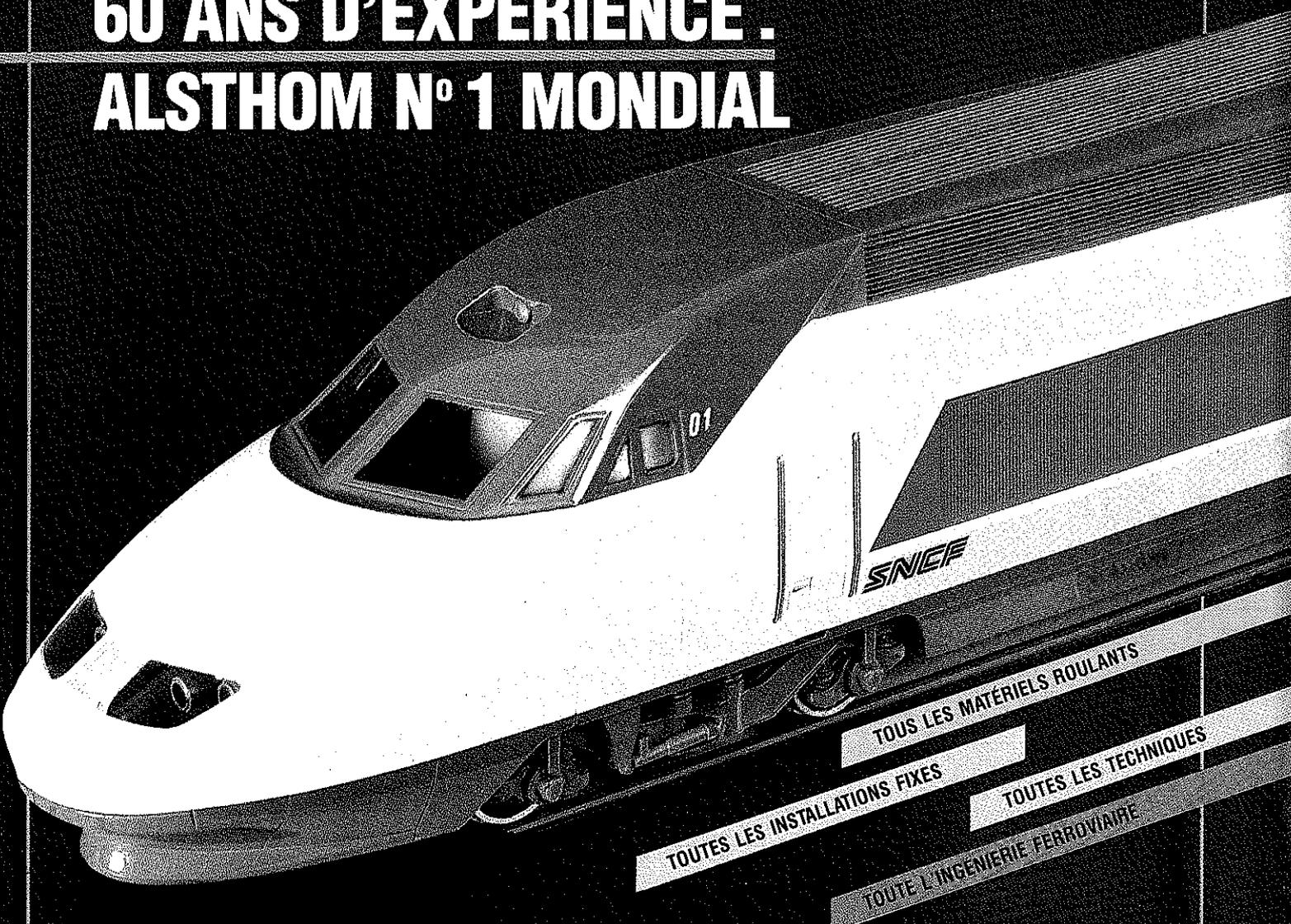
Figure 3. L'automatisation nécessite un dialogue permanent entre le sol et le véhicule. Il faut en effet connaître l'état d'occupation de la voie, la vitesse du véhicule, et s'assurer du bon fonctionnement des équipements. La transmission des informations se fait en général au moyen de plusieurs supports tels que des câbles, des balises, ou le rail lui-même, et avec l'aide de capteurs embarqués. Nous voyons ici des capteurs équipant un train de la ligne A du RER parisien, et destinés à fournir des informations au Système d'aide à la conduite, à l'exploitation et à la maintenance (SACEM) qui optimise la conduite avec agent à bord. A gauche, un dispositif capte les signaux électromagnétiques émis par le rail. A droite, on voit une antenne émettrice assurant la transmission machine-voie. (Cliché J.P. Perrin-RATP)

res par excellence, permettent des traitements logiques simples à l'aide de câblages appropriés. De plus, en procédant, au cours de l'étude des circuits, à une analyse systématique des pannes possibles — coupures, courts circuits — on peut faire en sorte que tout défaut se traduise par un état plus restrictif de l'information de sortie. C'est ce que l'on appelle la sécurité intrinsèque. Les systèmes à relais ne présentent cependant pas de des avantages :

calculateurs, ou dit « de vote » utilisant trois calculateurs, conçus en sécurité intrinsèque. En ajoutant à cela des procédures d'auto-test et de tests croisés, on parvient à démontrer que les erreurs de fonctionnement peuvent être détectées. En cas de détection d'erreur par le dispositif, un arrêt d'urgence peut être déclenché.

Les applications en service actuellement portent sur des postes d'aiguillage,

# 60 ANS D'EXPÉRIENCE : ALSTHOM N° 1 MONDIAL



**E**n janvier 1987, nous avons acquis la totalité des activités ferroviaires de la Société Jeumont Schneider.

Alsthom devient le leader international :

- Premier constructeur mondial de matériels ferroviaires ;
- Premier exportateur mondial de matériels et d'équipements ferroviaires.

Désormais notre production couvre la totalité des besoins.

Nous accroissons notre capacité à concevoir et réaliser des systèmes complets de transports.

Nos 60 années d'expérience de terrain aux quatre coins du monde ont consolidé notre

haute compétence et ont renforcé notre idéal : "Innover, améliorer nos performances"<sup>(1)</sup> dans le seul but de mieux servir nos clients et utilisateurs".

(1) Ainsi, ALSTHOM, Division Matériels ferroviaires, prépare et construit le train le plus moderne et le plus rapide du monde (300 km/h) : le TGV Atlantique.

## ALSTHOM

### Division Matériels ferroviaires

Tour Neptune - Cedex 20  
92086 Paris-La Défense - France  
Tél. : 33 (1) 47.44.90.00 - Télex : ALSTR A 611207 F



CIGIE

# LA SNCF LE BON PARTENAIRE DE VOS ÉCHANGES INTERNATIONAUX.

En matière économique, vous le savez, les frontières n'existent plus; l'internationalisation des rapports industriels et commerciaux est devenue la principale caractéristique de cette fin du XX<sup>e</sup> siècle. Les marchés européens en particulier s'ouvrent de plus en plus entre eux et quotidiennement, petites ou grandes entreprises, vous êtes amenés à exporter ou à importer davantage de marchandises. C'est pour vous aider justement à réussir vos échanges internationaux que la SNCF ne cesse d'imaginer, d'inventer de nouveaux produits, de nouveaux services et de se doter de nouveaux moyens. La SNCF souhaite ainsi devenir chaque jour davantage le partenaire de votre activité hors de l'Hexagone.

## DES PRODUITS PERFORMANTS

Le marché international ne peut être assimilé à une simple extension du marché intérieur. Réglementation, formalités administratives ou douanières, vous le savez, en font un marché spécifique.

Et pourtant, à l'exportation aussi, et peut-être surtout, vous vous devez d'être les meilleurs; aussi, grâce à son infrastructure, grâce à son expérience, et grâce aux relations privilégiées qu'elle entretient avec ses homologues des États voisins, la SNCF est à même de vous aider, avec le développement de nouvelles prestations particulièrement efficaces, mieux adaptées aux besoins des entreprises d'aujourd'hui.

● Première série d'atouts pour la SNCF Marchandises, la mise en circulation progressive, en liaison avec ses partenaires étrangers, de trains spécialisés, assurant un transport rapide, économique et sûr, des trains entiers multiclients regroupant des envois d'une même région, à destination d'un même pays. Parmi ces trains, citons :

**Le Nord-Méditerranée** : relier la mer du Nord à la Méditerranée en moins de trois jours, c'est le pari tenu par la SNCF et les chemins de fer allemands avec la mise en place de cette liaison quotidienne (du lundi au vendredi), dans les deux sens entre une cinquantaine de gares des régions de Lyon, Grenoble, Saint-Étienne, Chambéry, Marseille, une cinquantaine de gares allemandes des régions de Kiel, Hanovre, Brême, Hambourg ou Emden.

Ce train, véritable «Trans-Europ Express» marchandises, circulant à 100 km/h permet aux produits enlevés en soirée d'être livrés au destinataire le surlendemain matin à 8 heures. Destiné aux transports par charges complètes, ce nouveau train accueille toutes les marchandises à l'exception toutefois des produits sidérurgiques et des matières dangereuses. Autre aspect non négligeable pour vous, la mise en place de formalités douanières simplifiées et des tarifs inférieurs de 20% en moyenne à ceux pratiqués jusqu'ici, cela grâce à l'application d'un tarif commun. De plus, les prix sont garantis pendant un minimum d'un an (sauf en cas de variation trop forte des taux de change) et le règlement a lieu dans la monnaie du pays où il s'effectue.

**L'Interdelta** : deux fois par semaine, il assure une liaison directe à double sens entre 33 gares belges + 4 gares de la Flandre néerlandaise et 52 gares du sud-est de la France (sur l'axe Lyon-Marseille). Sans arrêt aux frontières, approvisionner en 48 heures dans les meilleures conditions vos clients d'Europe du Nord.

**Les TRES** (transports rapides économiques et sûrs) entre la France et l'Italie. Objectif commun des chemins de fer italiens et français : offrir aux exportateurs des deux pays la possibilité d'acheminer dans des délais très courts, 3 à 4 jours des marchandises entre toutes les gares françaises et les gares des zones de Vérone, Venise, Udine ou Bologne : tout le nord-est de l'Italie et donc aussi la Yougoslavie, l'Autriche et même la Grèce.

**Le Mahé Express** : la dernière liaison spéciale en date avec l'Europe du Nord; deux fois par semaine, ce train relie la France au Danemark et comporte des wagons de marchandises diverses et des transports combinés soumis au régime inter-container.

Devant l'intérêt croissant manifesté par les entreprises pour ces véritables «trains charters», d'autres projets de lignes spéciales sont à l'étude, en particulier entre la région Bourgogne et la Suède, ou encore sur l'axe nord-sud.

● Autres prestations offertes par la SNCF Marchandises pour améliorer vos échanges avec vos clients ou fournisseurs étrangers : La mise à disposition de wagons spécialement adaptés aux divers réseaux européens, permettant d'éviter entre autres les ruptures de charges aux frontières espagnoles, portugaises ou anglaises.

La mise en place d'un service informatisé de suivi des wagons sur plusieurs réseaux ferroviaires, qui permet à tout moment de savoir où se trouve la marchandise que vous faites acheminer.

Le développement de «rendez-vous train-bateau». Grâce aux voies de quais des ports, les wagons peuvent s'approcher au plus près des navires qui sont ainsi chargés directement.

Enfin, des barèmes communs ont été mis au point avec les autres sociétés européennes de chemins de fer afin de vous faire bénéficier de tarifs très compétitifs.

## UNE VASTE PALETTE

Le développement de nouveaux produits se traduit bien sûr par un accroissement sensible des services qui vous sont proposés. Vous souhaitez avec quelque raison vous consacrer à l'essentiel dans votre entreprise, à savoir produire et vendre. Eh bien sachez que dans chaque région, des équipes de spécialistes de la SNCF, les responsables logistiques régionaux, sont à votre disposition pour se substituer à vous dans la réalisation de tout un ensemble d'opérations qui, liées au transport des marchandises se déroulent souvent en amont ou en aval de celui-ci. Ce sont pêle-mêle le chargement et le déchargement, le conditionnement et le reconditionnement des produits, l'arrimage, la manutention des charges dans l'usine ou l'entrepôt, les opérations douanières, la facturation, la rédaction de liasses d'expédition, le stockage, l'entreposage et même la distribution.

Grâce à l'ensemble de ses nouveaux produits et services, dont elle a déjà une parfaite maîtrise, la SNCF entend désormais se placer en véritable partenaire de votre entreprise. Un partenaire du long terme qui souhaite établir avec vous une relation privilégiée et vous permettre de développer vos échanges avec vos clients étrangers, tout en garantissant le respect de vos engagements auprès d'eux. A vos efforts pour conquérir de nouvelles parts de marché hors de l'Hexagone correspond la volonté de la SNCF de vous offrir des solutions de transport performantes et compétitives.

Désormais, la SNCF entend satisfaire tous vos besoins dans un domaine qui est de sa vocation intrinsèque et auquel elle apporte une expérience inégalée et inégalable.



Direction Commerciale Marchandises  
10, place de Budapest 75009 Paris  
et dans toutes les agences régionales SNCF Marchandises

## 1 ARAMIS, LE NEC PLUS ULTRA DES AUTOMATISMES

ARAMIS, système de transport entièrement automatisé en cours de développement par la RATP sur co-financement de l'Etat, de la région Ile de France, de la RATP et de la SNCF, bénéficiera des automatismes utilisant des microprocesseurs codés. Il effectuera ses essais sur un site expérimental à Paris et devrait être mis en service en 1988. Première mondiale, Aramis est constitué d'unités élémentaires à traction électrique de deux voitures de petite capacité — dix places assises chacune — attelées mécaniquement et roulant sur pneumatiques. Ces doublets circulent en rames par l'intermédiaire d'un accouplement immatériel électronique, c'est-à-dire sans lien matériel, autorisant leur réparation et leur regroupement aux aiguillages. L'orientation de chaque doublet est assurée par un dispositif d'aiguillage embarqué. Il est donc possible d'adapter la longueur des rames à la demande de transport, et d'exploiter un réseau existant sans changement de véhicule pour l'utilisateur. Aramis semble être l'illustration la plus avancée de l'automatisation mise au service de la sécurité, de la disponibilité et de la qualité de service.

Permettant aux opérateurs des décisions à prendre pour faire face à des situations complexes en temps réel. Ils seront également précieux pour la prévention des pannes et pour le dépannage, ainsi que pour l'aide à la maintenance des matériels.

D'une façon générale, l'aide au dépannage en circulation des trains comprend trois niveaux de plus en plus visibles par le voyageur. Au premier niveau, le système embarqué ayant détecté une défaillance provoque le « basculement » du fonctionnement du circuit défaillant sur un second circuit, dit redondant. Cela permet en général la poursuite du transport sans effet perceptible par le voyageur. Le deuxième niveau n'intervient que lorsque le dépannage précédent n'est pas possible. Le système central met alors en œuvre par télécommande un circuit pouvant déclencher un fonctionnement dégradé, la marche plus lente par exemple. La mission est alors poursuivie en mode automatique, mais les voyageurs subissent un léger retard. Le troisième niveau est l'intervention locale, telle que réparation ou reprise en commande manuelle, qui peut provoquer un retard très important. Il entre en scène lorsque les deux premiers niveaux sont défaillants. Dans tous les cas, le dépannage doit être réalisé dans des délais aussi brefs que possible. La solution, c'est l'aide au diagnostic et la modularité fonctionnelle et technique qui permettent des échanges standard.

De la même façon, les travaux de maintenance et de réparation en atelier bénéficieront de l'aide au diagnostic par systèmes experts. De tels dispositifs sont déjà expérimentés au métro de Paris. Ils sont soit à postes fixes pour analyser un appareillage en panne après démontage ou à partir d'une prise test, soit embarqués et fonctionnent en temps réel. L'intérêt de ces systèmes experts réside dans la possibi-

lité d'organiser une politique de maintenance fondée sur la prédiction. Cette politique est basée sur l'analyse de l'évolution dans le temps de certains paramètres annonciateurs d'une future défaillance. Au lieu d'attendre la panne ou de procéder à une surveillance, la maintenance intervient lorsque les caractéristiques du dispositif commencent à dériver, et avant que cela ne produise un effet significatif. De tels systèmes permettront une utilisation optimale d'un réseau dans le cadre d'un fonctionnement automatique.

### Un système nerveux.

Le fonctionnement automatique, tel que nous venons de le décrire, met en jeu des dispositifs ou des sous-systèmes qui doivent dialoguer entre eux à bord des véhicules, au sol grâce à des installations fixes, entre le sol et les véhicules, ou entre les véhicules eux-mêmes (fig. 3). Pour des raisons de fiabilité, les informations échangées sont en général numérisées. Pour des raisons de sécurité elles sont également codées, comme on l'a vu lors du traitement informatisé de la sécurité.

Les besoins de l'automatisation, pour ce qui est des échanges continus sol-véhicule, concernent des informations de sécurité en nombre relativement limité, des informations de télécontrôle-télécommande en nombre beaucoup plus important, des communications entre poste central et voyageurs, et éventuellement des surveillances télévisuelles.

Le choix de la technique de transmission dépend essentiellement du débit nécessaire. Les hautes fréquences — quelques dizaines de kilohertz — ne permettent que quelques centaines de bits par seconde. Les très hautes fréquences — quelques centaines de mégahertz — sont bien adaptées à la radio téléphonie et à des données à 1 200 ou 2 400 bits par seconde. Les hyperfréquences enfin, de l'ordre du gigahertz, permettent un débit très élevé et offrent une bande passante autorisant des transmissions d'images. Elles constituent la solution la plus satisfaisante pour l'ensemble des besoins. Leur transmission est aisée ponctuellement ou sur des zones courtes. Des antennes fixes donnent un rayonnement en champ libre que capte facilement l'antenne embarquée, et la liaison inverse est également réalisée. C'est ce principe qui est utilisé en particulier pour échanger des informations d'aide à la maintenance. Pour une transmission continue, il faut réaliser un dispositif robuste et peu sensible aux pollutions diverses, qui guide les ondes au sol tout en assurant une diffusion continue le long de la voie.

### Un allié objectif de l'automatisation.

Les avantages d'une exploitation automatique ne nécessitent pas de plus longues démonstrations. Il est par contre plus conjectural d'analyser l'évolution du roulement dont les principes les plus traditionnels pourront être remis en question, comme on le verra plus loin. La popul-

sion des véhicules futurs est cependant sensible à la perspective de leur automatisation. En effet, celle-ci impose de dimensionner plus rigoureusement leur freinage pour les conditions d'adhérence les plus défavorables. Nous l'avons vu, augmenter le débit maximal du système sans diminuer sa sécurité est l'avantage essentiel des automatismes. Mais il faut pour cela limiter leur autonomie de décision afin qu'ils ne dégradent pas le service, en diminuant la vitesse par exemple lorsque survient une averse. On sait combien le débit et la sécurité dépendent de l'adhérence quand on freine au moyen des roues. Il existe des situations exceptionnelles, provoquées par la présence de feuilles mortes mouillées par exemple, où l'adhérence diminue beaucoup trop pour qu'il soit possible de dimensionner tout le système à partir de ces cas extrêmes. Ces derniers doivent donc être pris en considération. Le moteur linéaire se présente alors comme allié objectif de l'automatisation car il transmet les efforts de traction ou de freinage par action électromagnétique sur un rail fixé à la voie, sans passer par les roues et sans utiliser l'adhérence. Il s'agit en quelque sorte d'un moteur électrique rotatif dont on aurait mis à plat et face à face l'induit et l'inducteur, l'un sur le rail et l'autre sur le véhicule. Pour en retirer tout le bénéfice, il faut d'une part que le système, et notamment ses aiguillages, soit compatible avec

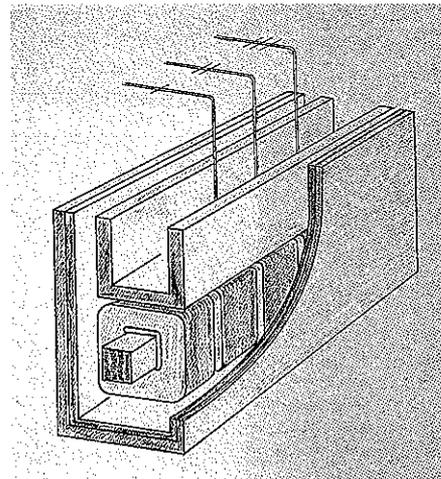


Figure 4. Le moteur linéaire transmet directement au véhicule les efforts de traction ou de freinage par action de force électromagnétique sans qu'il soit nécessaire de passer par les roues. Il s'affranchit donc de tous les problèmes d'adhérence. La France a choisi, pour exploiter les qualités de ce type de moteur, de développer avec la société Celduc un moteur linéaire qui s'emboîte dans un rail en forme de U. Ce rail, que nous voyons sur la figure, est constitué d'une feuille d'acier laminé recouverte d'un métal conducteur et plié en U, ce qui permet de réduire les efforts parasites. En injectant du courant continu dans le bobinage triphasé, on transforme le moteur en frein de sécurité qui dissipe l'énergie dans le rail. L'écran placé au-dessus des bobinages sert à réduire les fuites magnétiques. Un moteur de 1 000 kilowatts de puissance a été essayé en 1983, en liaison avec un guidage magnétique. De bons rendements ont été obtenus sans faire apparaître les instabilités que l'on redoute avec les moteurs dont l'induit est plat. (D'après J.P. Pascal)

l'installation du rail moteur, d'autre part que le freinage électrique par le moteur puisse être traité en sécurité. La première condition lie moteur linéaire et lignes nouvelles, la seconde exige d'embarquer dans les véhicules une batterie de secours dont on injecte le courant dans le moteur pour freiner en cas de panne de la ligne ; l'énergie cinétique est alors dissipée dans le rail.

Des moteurs linéaires sont désormais en service intensif sur deux lignes nouvelles de métros automatiques, à Toronto et à Vancouver. De nombreux autres systèmes, plus légers, sont en service ou en développement dans le monde. En France, à la suite d'un programme lancé par l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) en 1975 et fondé sur la comparaison de modèles réduits, on a choisi de développer un moteur linéaire qui s'emboîte dans un rail en forme de U (fig. 4). Il permet de réduire la taille de l'onduleur, c'est-à-dire l'électronique de contrôle, et les efforts parasites par rapport aux moteurs dont le rail est plat.

Bien entendu, les évolutions des moteurs de traction rotatifs classiques, dont la version de base est aujourd'hui le moteur à courant continu avec hacheur de courant se poursuivent. Elles sont favorables aux moteurs à courant alternatif, plus faciles à entretenir, alimentés par onduleurs dont la technologie est simplifiée avec l'arrivée de nouveaux composants électroniques de puissance : les thyristors GTO pour *Gate Turn Off*, c'est-à-dire que l'on peut éteindre par action sur une « gachette », sorte de super transistors capables de « couper » des courants 3 000 ampères et de « bloquer » des tensions jusqu'à 5 kV. Ils simplifient aussi les hacheurs et équipent déjà partiellement le VAL de Lille, avec les travaux de Matra-Transport et Alsthom.

### Un serpent dans le sous-sol parisien.

Tous les chemins de fer du monde utilisent depuis 150 ans le principe de l'essieu monobloc à roues coniques, qui offre un compromis rustique mais acceptable pour réaliser des véhicules aussi stables en ligne droite qu'aptés à prendre les courbes sans frotter. On désigne ainsi l'assemblage rigide de deux roues à bandage conique sur un même arbre qui tourillonne dans des boîtes à roulements sur lesquelles repose le véhicule. Lorsque la voie tourne, la roue extérieure tend à monter sur le rail, et son rayon de roulement augmente puisqu'elle est conique, le contraire se produisant sur la roue intérieure. Comme la vitesse angulaire des deux roues est la même, la première parcourt un chemin plus grand que la seconde et l'essieu tend donc à s'orienter pour revenir vers le centre de la voie. Il pourra y trouver un équilibre si le rayon de la courbe n'est pas trop petit (fig. 5). Ce principe se heurte cependant à deux obstacles.

Pour que les deux essieux d'un véhicule puissent s'orienter au mieux dans la

courbe, il faut les laisser tourner, par rapport au véhicule, d'un angle proportionnel à leur distance. Il faudrait donc que leurs attaches au véhicule soient assez souples. Mais la stabilité, au contraire, exige des suspensions raides. Ensuite, pour rouler dans les courbes, sans frotter sur les flancs de sécurité des roues appelés boudins, il ne faudrait pas, avec les valeurs numériques usuelles indiquées sur la figure, que le rayon descende en dessous de 650 mètres. Cela est très insuffisant pour les tracés urbains où l'on fixe un objectif de 30 mètres qui exigerait d'augmenter considérablement la conicité des roues. Comme cela dégraderait trop la stabilité et le

## 2 SACEM, UN BOUCLIER ANTI-DÉFAILLANCE

Le SACEM, système d'aide à la conduite, à l'exploitation et à la maintenance, est destiné à optimiser la conduite automatique avec agent à bord. Développé depuis cinq ans à la demande de la RATP et de la SNCF par un groupe de constructeurs spécialistes des automatismes ferroviaires (Jeumont-Schneider devenu MTE Alsthom, Compagnie des signaux et entreprises électriques — CSEE —, Matra transport), il doit permettre à partir de 1988 une augmentation de 25 % de la capacité de transport de la ligne A du RER, par réduction de l'intervalle entre les trains. La SNCF doit également le mettre en œuvre sur la ligne C du RER. Sa fonction principale est un contrôle qui compare continuellement la vitesse réelle du train à la vitesse de consigne élaborée à chaque instant à bord, à partir de données transmises depuis le sol ou mémorisées sur le train et représentatives de la situation. Il utilise le principe de sécurité par monoprocésseur codé. Tout dépassement de la vitesse autorisée produit automatiquement un freinage d'urgence jusqu'à l'arrêt. Ce système constitue donc un bouclier contre une éventuelle défaillance de conduite et permet de faire circuler les trains à distance plus réduite les uns des autres.

Pour ce faire, plutôt que de modifier la signalisation latérale existante, on lui substitue une présentation d'indications dans la cabine de conduite. Un indicateur à trois chiffres affiche la vitesse de consigne dans un encadrement de couleur verte ou jaune selon qu'il s'agit d'une vitesse constante ou d'un ralentissement, un voyant jaune signale au conducteur qu'il doit freiner immédiatement pour ramener la vitesse à 30 km/h, seuil en dessous duquel les manœuvres à vue ne sont pas dangereuses. Un voyant rouge commande l'arrêt immédiat vers un point obligé. Enfin un signal d'alarme est associé au freinage d'urgence. De plus, pour favoriser la surveillance du fonctionnement du système et permettre des dépannages rapides en cas d'avarie, une fonction d'aide à la maintenance détecte en temps réel les anomalies, par exemple des signaux électriques non conformes, localise les pannes et transmet ces informations au centre de maintenance au sol.

confort à plus haute vitesse, il faut tolérer frottements, bruits et usures dans les courbes de faibles rayons en les atténuant par des opérations de graissage qui pèsent sur la maintenance et diminuent l'adhérence. On a imaginé alors deux types de solutions pour surmonter ces obstacles. Le premier est le bogie à essieux orientables. Le principe du bogie, à savoir assembler les essieux par paire à chaque extrémité du

véhicule, permet de réduire la distance entre les essieux et facilite leur inscription en courbe. Pour faire mieux encore en conservant les essieux monobloc à roues coniques, on cherche à aider leur orientation par des dispositifs mécaniques conçus pour contrecarrer les forces de rappel des suspensions. Un tel dispositif est monté par exemple sur les véhicules réalisés par Urban Transportation Development Corporation à Vancouver et à Toronto. Mais il ne suffit pas à éviter les inconvénients résultant du différentiel de vitesse des deux roues dans les courbes de faible rayon.

Les essieux à roues indépendantes, seconde solution, suppriment complètement les frottements en courbe à condition de leur adjoindre un dispositif capable de les orienter exactement comme pour une automobile. Avec les essieux sur pneumatiques orientés par des roulettes latérales, la RATP avait confirmé ce principe depuis longtemps mais il lui restait à l'adapter au roulement fer qui offre l'avantage d'une plus grande charge à l'essieu. Pour cela, un mécanisme d'orientation utilisant l'angle qui apparaît en courbe entre les caisses, a remplacé les roulettes latérales et une rame prototype a donné toute satisfaction aux essais probatoires en 1986. Cette rame est connue sous le sigle BOA qui rappelle son architecture d'un seul tenant sans coupure entre les voitures. La solution choisie consiste à utiliser la rotation de la barre d'attelage entre deux voitures adjacentes sachant que l'angle dans une courbe et l'angle de rotation idéal des essieux voisins sont approximativement proportionnels (fig. 5). Pour retirer tous les bénéfices de cette solution prometteuse, il faudra mettre au point une motorisation appropriée, qui exigera sans doute un moteur à chaque roue, utilisant une transmission directe à la roue car la transposition du pont différentiel routier n'est guère adaptée aux conditions d'adhérence du roulement fer.

Encouragé par les succès du BOA, l'INRETS a imaginé d'assurer l'orientation des essieux à roues indépendantes au moyen d'un asservissement électromagnétique. Ce système, qui s'adapte bien à une propulsion par moteur linéaire, fait actuellement l'objet d'essais de faisabilité menés conjointement par la RATP et l'INRETS sur la grande roue d'essais de ce dernier à Grenoble, et d'une étude technico-économique en vue d'une comparaison avec un système à sustentation magnétique, principe utilisant les forces d'attraction d'un électro-aimant pour porter le véhicule, que nous verrons plus loin en détail. Cette comparaison est entreprise par un groupe d'industriels allemands et français, dont Thyssen-Henschel et Matra-Transport sont chefs de file, dans le cadre d'un accord signé en février 1986 et préparé par dix années de coopération scientifique. Les deux systèmes comparés utilisent le moteur linéaire développé par la société française Celduc ; il a été convenu que celui qui serait reconnu le mieux adapté au

suite page 27

suite de la page 24  
transport suburbain serait développé en commun.

A l'image de la coopération franco-allemande dans ce domaine, il est clair que les pays européens constructeurs de matériels ferroviaires, tous logés à l'enseigne d'une très vive concurrence mondiale, ont intérêt non seulement à concerter leurs stratégies mais aussi à coopérer au développement du plus grand nombre possible de projets pour répartir entre eux les risques et les avantages de recherches dont les débouchés sont à long terme. Cette dynamique, qui a porté ses fruits dans le domaine aéronautique, est encore timide pour les matériels urbains mais elle est engagée et c'est dans sa perspective qu'il faut envisager les développements futurs.

**Vers la sustentation magnétique ?**

La sustentation magnétique, dans sa variante qui utilise les forces d'attraction entre des électro-aimants fixés aux véhicules et des rails en fer fixés sous la voie, va plus loin encore — l'autre variante, plus futuriste, qui utilise un principe tout autre, la répulsion au moyen de bobines supraconductrices, n'est pas développée en Europe. Elle prétend répondre à l'ensemble des problèmes du roulement : bruits, usures, vibrations, entretien du matériel et des voies. Un entrefer nominal d'une dizaine de millimètres est maintenu entre les aimants et la voie par une régulation électronique. L'ensemble peut se comporter, vis-à-vis des défauts de voie, comme un filtre à basse fréquence et remplacer

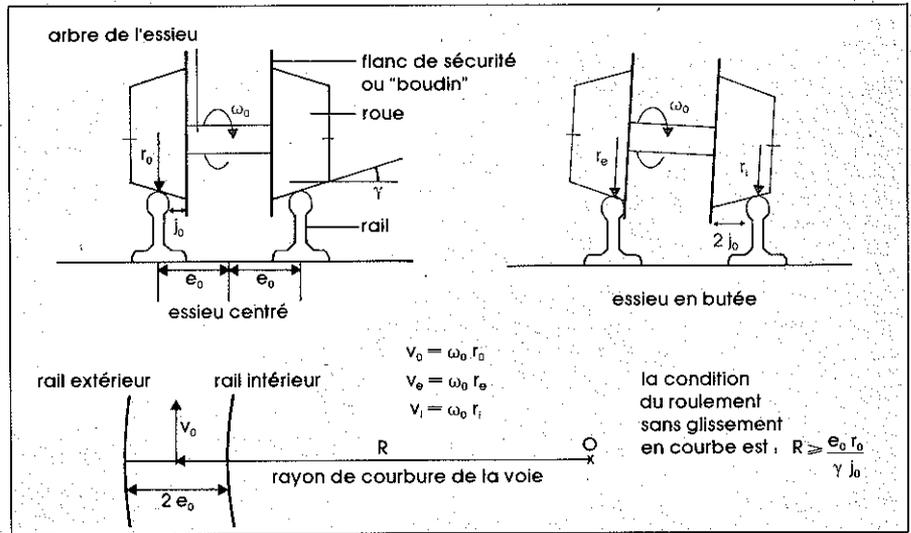
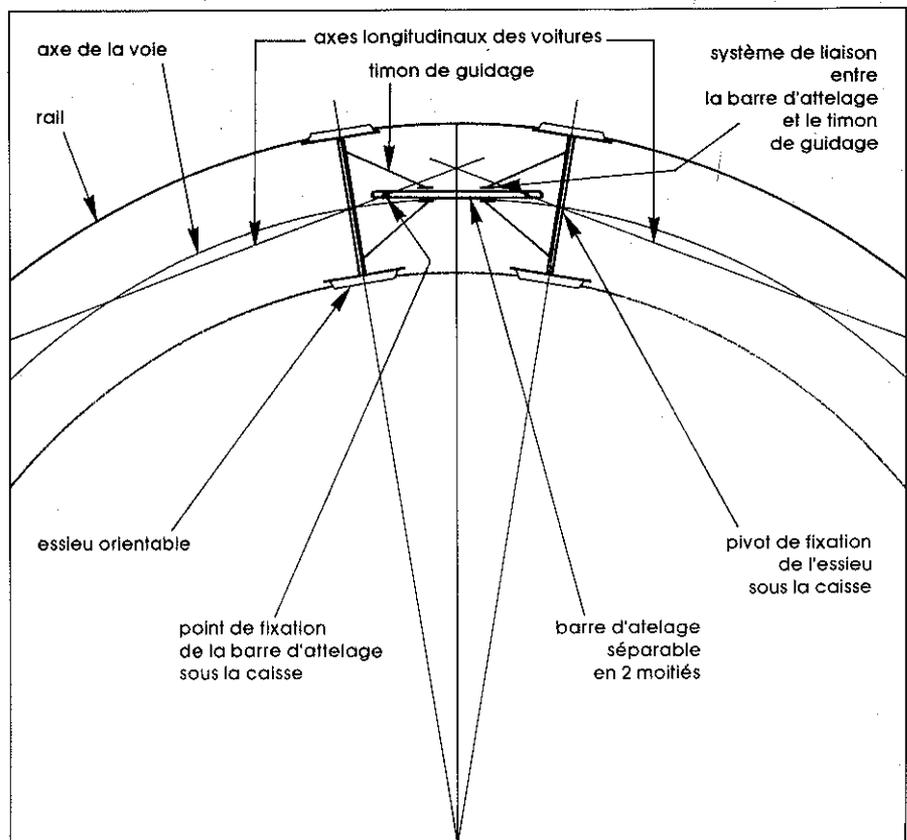


Figure 5. L'essieu monobloc à roues coniques (A) supporte le chemin de fer depuis cent cinquante ans. Il s'agit d'un assemblage rigide de deux roues dont la conicité est mesurée par l'angle  $\gamma$  sur la figure, assemblage fait sur un même arbre fixe. Grâce à la conicité et au jeu  $j_0$ , l'essieu a toujours tendance à revenir au centre de la voie, en ligne droite comme en courbe. Les valeurs usuelles sont  $2e_0 = 1,435m$ ,  $\gamma = 0,05$ ,  $2j_0 = 0,02m$  et  $r_0 = 0,45m$ . Si la courbe est trop serrée, il y a frottement sur les boudins, ou flancs de sécurité des roues ; si la conicité est trop forte, l'essieu sera instable. Tout l'art du roulement réside dans le compromis entre stabilité et aptitude à prendre les courbes. Dans les wagons à deux essieux, la distance qui sépare les essieux est grande et nécessite d'utiliser des suspensions souples pour permettre leur orientation correcte en courbe. Il en résulte une mauvaise stabilité et un certain inconfort. En assemblant les essieux par paires pour former des bogies, on améliore grandement ce problème d'orientation. Reste cependant le problème de la différence de vitesses des deux roues dans une courbe : la roue extérieure roule plus vite que la roue intérieure. La solution réside dans le principe de l'orientation des essieux à roues indépendantes, utilisé pour la rame expérimentale Boa qui fait ses essais à Paris (B). Les essieux sont placés chacun en bout d'une voiture, ce qui permet d'installer des intercirculations que l'on distingue bien ici, et on utilise l'angle qui apparaît entre les axes des voitures dans les courbes pour les orienter. Comme on le voit en (C), la pièce maîtresse du dispositif est la barre d'attelage qui assure aussi la stabilité en alignement. Sans de tels dispositifs, les essieux, qui n'ont plus l'effet de la conicité des roues pour les orienter, auraient un comportement anarchique rendant les voitures très inconfortables. (Clichés RATP et J.P. Pascal)



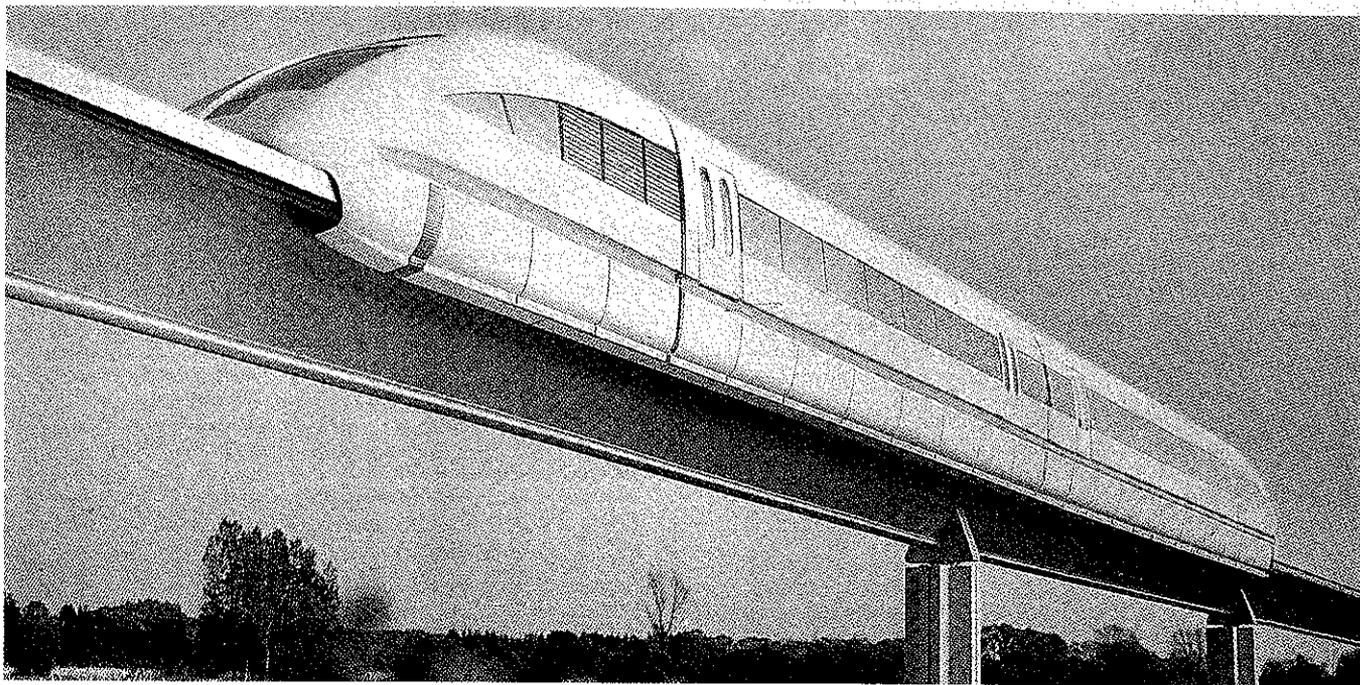


Figure 6. Cette maquette représente l'une des versions possibles du véhicule à sustentation magnétique et moteur linéaire avec rail en U, qui sont étudiées dans le cadre d'une coopération franco-allemande entre le Ministère français chargé des transports et le Ministère fédéral allemand de la recherche et de la technologie. Les chefs de file industriels en sont Matra-transport et Thyssen-Henschel. La version que l'on voit ici est destinée au transport de type RER à des vitesses de l'ordre de 100 à 150 km/h. Contrairement à ce qui se fait au Japon, on ne développe pas en Europe la technologie utilisant la répulsion au moyen de bobines supraconductrices ; on la considère comme plus futuriste. Ici, des électro-aimants ordinaires supportent le véhicule par leur force d'attraction qui s'exerce sur des rails en fer. On conserve une distance d'environ un centimètre entre les rails et les électro-aimants ; cela est suffisant pour absorber les défauts de la voie afin de réduire les vibrations transmises au véhicule. (Cliché ministère des Transports)

ainsi les suspensions usuelles. Sous ce principe simple se cachent de redoutables problèmes de stabilité que savent aborder et résoudre les ingénieurs européens. On sait en effet que la force d'attraction d'un électro-aimant est, en première approximation, proportionnelle au carré du courant traversant son bobinage et inversement proportionnelle au carré de l'entrefer qui le sépare de sa culasse de fermeture du flux magnétique, ici le rail. Lorsque l'électronique de contrôle fournit un courant donné, juste nécessaire pour équilibrer le poids du véhicule compte tenu de l'entrefer existant à cet instant, le véhicule est en sustentation. Mais si l'entrefer vient à diminuer par un défaut de la voie, un changement de pente ou des vibrations des structures ou une flexion de la poutre qui supporte la voie, l'effort de l'aimant croît immédiatement et tend à diminuer encore l'entrefer jusqu'au contact brutal des deux pièces. La régulation doit donc stabiliser ce processus par une surveillance vigilante de l'entrefer et une action rapide sur le courant. On peut aussi se faire une idée de la difficulté en constatant que, pour équilibrer le même poids, il faut davantage de courant, comme on vient de le voir, lorsque l'entrefer est plus grand. Mais pour augmenter l'entrefer, à partir d'un équilibre établi, il faut commencer par diminuer le courant. Le régulateur doit donc être assez « intelligent » pour décomposer les ordres qu'il reçoit et tenir compte de tous les éléments de la dynamique électromécanique du système.

En Grande-Bretagne, à Birmingham,

un petit système à sustentation magnétique, de conception très rustique, propulsé par un moteur linéaire a été mis en service commercial en 1985 entre l'aéroport et un centre d'expositions. Au Japon, la compagnie Japan Air Lines, après avoir pris une licence allemande, développe un système similaire mais plus sophistiqué dont elle a fait la démonstration dans des expositions internationales. On expérimente en ce moment à Berlin le système Magnet-Bahn sur un tronçon de ligne de rabattement vers une station du métro. Ce dernier est un compromis qui utilise à la fois des roues et des aimants permanents, c'est-à-dire sans régulation : la stabilité est ici assurée par les roues. Plus économe en énergie que les systèmes utilisant des électro-aimants, le Magnet-Bahn en revanche ne permet pas de réduire aussi efficacement les vibrations. De son côté, le groupe de travail franco-allemand évoqué plus haut mène une étude comparative entre différentes versions d'un véhicule à sustentation magnétique et moteur linéaire avec rail en U (fig. 6).

Si les avantages que la sustentation magnétique pourrait apporter aux transports urbains sont indéniables, il reste encore à chiffrer le prix que les collectivités sont prêtes à leur attribuer. Ce chiffre est-il technique ? Certains éléments le sont certainement comme le coût des rails à remplacer ou des roues à réusinier, mais leur reconnaissance est exclusivement celle des réseaux existants. Leur maîtrise échappe aux industriels, plus sensibles à l'influence décisive des coûts d'investissement sur les décideurs des

appels d'offres internationaux. La participation de la RATP et de sa filiale la Société française d'études et de réalisations en transports urbains (SOFRETU) au groupement franco-allemand dont nous avons parlé permet d'envisager avec optimisme l'objectivité de cette étude.

#### L'utilisateur et le chercheur.

Les succès remportés en matière d'automatismes et les promesses des nouveaux modes de propulsion et de sustentation ne sauraient faire oublier qu'au bout du compte, le jugement de l'utilisateur peut être déterminant. L'automatisation, synonyme de régularité, disponibilité et souplesse d'exploitation, est-elle acceptée par le public ? De nombreuses craintes avaient été exprimées au début des années 1970 à ce propos. Ces craintes sont apparues très exagérées dès l'ouverture des premiers systèmes américains dans les aéroports et les parcs d'attraction. De plus, diverses enquêtes menées auprès des usagers du VAL français notamment ont montré que l'impact des nouvelles technologies était perçu favorablement par le public.

Les nouveaux matériels de roulement qui vont être rapidement exploités, tels les essieux de BOA, devraient aussi ajouter à la qualité de service. La RATP prévoit aussi que l'intérieur des rames pourra s'ouvrir plus largement entre les voitures, permettant l'intercirculation ; information ou animation, à l'aide d'écrans vidéo par exemple, feront leur apparition à court terme.

Les quelques lignes de force que nous avons décrites nous apparaissent donc comme des tendances irréversibles. Le chercheur et l'ingénieur doivent cependant tenir compte des particularismes et de la diversité des besoins pour développer au bon moment le système adapté. Il va de soi que l'urbanisation d'une ville provinciale des Etats-Unis n'est pas la même qu'en Europe ou en Corée ; les constructeurs doivent donc s'adapter. Une tâche d'autant moins aisée que les investissements unitaires dans ce domaine sont très importants, de l'ordre du milliard de francs, et que les retombées politiques défavorables sont immédiates si la disponibilité du système n'est pas parfaite. Les constructeurs, et notamment les Européens, premiers à avoir réalisé des métros, ont donc compris qu'avant de partir à l'assaut des marchés extérieurs, il fallait commencer par des applications nationales. Ces pays exportateurs doivent aussi tenir compte du fait que le cycle innovation/exportation est nécessairement très long et lourd, puisqu'il passe par la construction de nouvelles lignes ou le remplacement de matériels. Une fois franchies les étapes de Recherche et développement et les deux ou trois années d'exploitation pour mesurer la fiabilité, il peut s'écouler plusieurs années avant que s'ouvre un marché à l'exportation. ■

# La Lettre de l'Intelligence Artificielle

Premier mensuel en langue française d'information dédié uniquement à l'intelligence artificielle.

Depuis plus de 30 mois, nos lecteurs ont lu 180 articles, 1000 nouvelles et 18 propos de gurus (industriels et chercheurs) de l'intelligence artificielle.

La Lettre de 16 pages s'adresse aux responsables de politique industrielle et commerciale, aux chefs de laboratoires de recherche et de développement et aux directeurs de stratégie.

## BULLETIN DE COMMANDE

Veuillez m'envoyer (cocher la case correspondante) :

un exemplaire gratuit de La Lettre de l'Intelligence Artificielle sans engagement ultérieur de ma part.

11 numéros par an de La Lettre de l'Intelligence Artificielle au prix de 1200 francs français TTC (pour la France métropolitaine) ou 1400 francs français net (pour l'étranger).

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_ Fonction : \_\_\_\_\_

Société, organisme : \_\_\_\_\_ Téléphone : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Date et signature : \_\_\_\_\_

Ci-joint un chèque à l'ordre d'EC2 en règlement de l'abonnement annuel

Veuillez débiter mon compte Carte Bleue

n° de carte : \_\_\_\_\_ ; expirant le .....

Je désire une facture de régularisation.

Commande à adresser à :

EC2, 269-287 rue de la Garenne, 92000 Nanterre, France.

Tél. : (1) 47 80 70 00 - Télécopie : (1) 47 80 66 29

## Pour en savoir plus

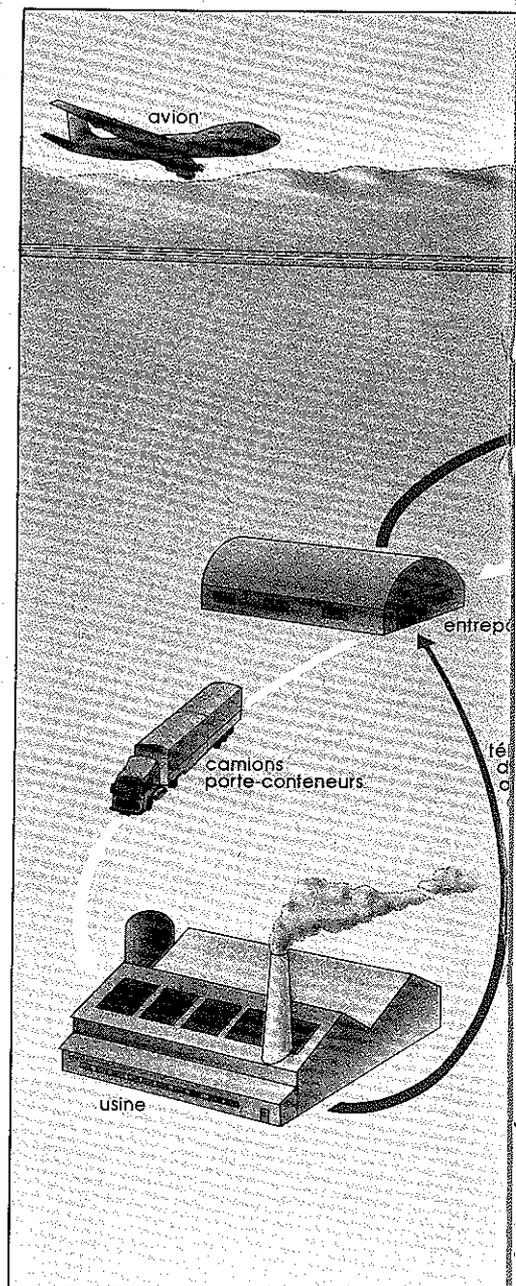
- J.P. Perrin, P. Beuchard, « Automatisation dans les réseaux ferrés urbains », *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1983.
- D. Ferbeck, « Le système VAL appliqué au métro de Lille », *Revue générale des chemins de fer*, mai 1981.
- *Revue Technique Annuelle 1986-1987* éditée par l'INRETS (Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité).
- P. Prevot, *Les systèmes nouveaux de transport urbain en site propre au Japon*, rapport de l'Institut de recherche des transports, janvier 1985.
- Actes du colloque « Transports guidés, systèmes, automatismes et communication », Programme de recherche et développement dans les transports terrestres (PRDTT), organisé par l'Association française pour la cybernétique économique et technique (AFCET) Paris, février 1987.
- *Essieux convergents de l'union des chemins de fer allemands*, RGCF août-septembre 1988 d'après Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1887-1888.
- J.P. Pascal, *Sustentation magnétique*, Note de synthèse sur les systèmes EDS et EMS, IRT, Arcueil, mai 1983.
- *Moteur linéaire en U, Linear motor mit U, Förmiger Reaktionschiene*, Rapport final de coopération ministère des transports/BMFT, 1983.
- F. Frederich, Possibilités inconnues et inutilisées du contact rail/route, *Rail International*, 10, novembre 1985.
- *Maglev & linear drives*, Conférence internationale, IEEE Vancouver, mai 1986.

# Le renouveau des transports de marchandises

par Jacques Colin

**Un transporteur doit, de nos jours, offrir à ses clients des services vraiment adaptés à leurs besoins mais il lui faut en même temps gérer son parc de matériel avec un maximum d'efficacité. Pour cela, il a besoin de pouvoir localiser en permanence ses camions ou ses conteneurs pour adapter l'offre à la demande.**

**Dans cette optique, les transporteurs français ont entrepris de se moderniser en informatisant leurs activités, pour assurer le suivi de toutes les opérations, des marchandises elles-mêmes et du matériel. Ainsi les camions sont désormais équipés de moyens informatiques et de transmission de façon à rester en contact permanent avec leur base, où des systèmes experts gèrent le transit des marchandises ainsi que le matériel. Enfin les entreprises assurent maintenant pour leurs clients toutes les activités liées au transport, jusqu'à la gestion des stocks de marchandises qu'elles transportent. Dans la perspective de l'abolition des frontières à l'intérieur de la Communauté européenne en 1992, la modernisation du transport de marchandises en France devrait lui permettre de résister à la concurrence des transporteurs du nord de l'Europe.**



Si la grève de la SNCF puis les mauvaises conditions météorologiques de l'hiver 1986-1987 ont posé de nombreux problèmes aux voyageurs, elles ont surtout mis en évidence la vulnérabilité d'une économie développée face aux « ratés » des transports. En effet, toute suspension des opérations de transports de marchandises entraîne tôt ou tard des ruptures de stocks, qui se traduisent par une réaction en chaîne de pénuries et d'arrêts de production. Dès lors, un constat s'impose : la complexité de plus en plus grande des économies développées passe par un renouveau des transports de marchandises, qui se doivent d'être toujours aussi disponibles que fiables tant sont graves les conséquences d'une rupture.

Nous allons voir que le renouveau du

secteur passe plus par la prise en compte de la transformation de son environnement économique et technique que par un développement technologique interne. Au plan économique, les usagers des transports de marchandises — industriels et distributeurs — sont amenés à gérer rigoureusement des flux de plus en plus élaborés et coûteux, ce qui les pousse à transformer profondément leur demande vis-à-vis des transporteurs. Au plan technique, c'est par un recours massif aux technologies de l'information et de la communication, développées par ailleurs, que les entreprises de transport pourront mieux répondre aux nouvelles exigences de leurs clients, quitte à ce que ces technologies agissent en retour sur le matériel et les infrastructures de transport proprement dit. Gageons que l'ouverture des

frontières à l'intérieur du Marché Commun en 1992 constituera pour le secteur des transports une incitation majeure à se rénover pour relever le double défi des déréglementations administratives et de la libéralisation économique. A cette date toutes les entreprises de transport européennes devront alors s'affronter, sans plus aucun mécanisme amortisseur, ni marché protégé.

La rénovation du secteur des transports intervient cependant dans un contexte généralement peu favorable. Entre 1979 et 1986, le trafic marchandises en France a fléchi de 17,3 % (fig. 2). Bien que le rôle historique du transport de marchandises dans le développement économique ait été largement reconnu, comme en témoigne l'œuvre de Fernand Braudel, il est actuellement plutôt négligé. Dans un pre-

Jacques Colin est maître-assistant à l'université d'Aix-Marseille II et participe aux travaux du Centre de Recherche d'économie des transports.

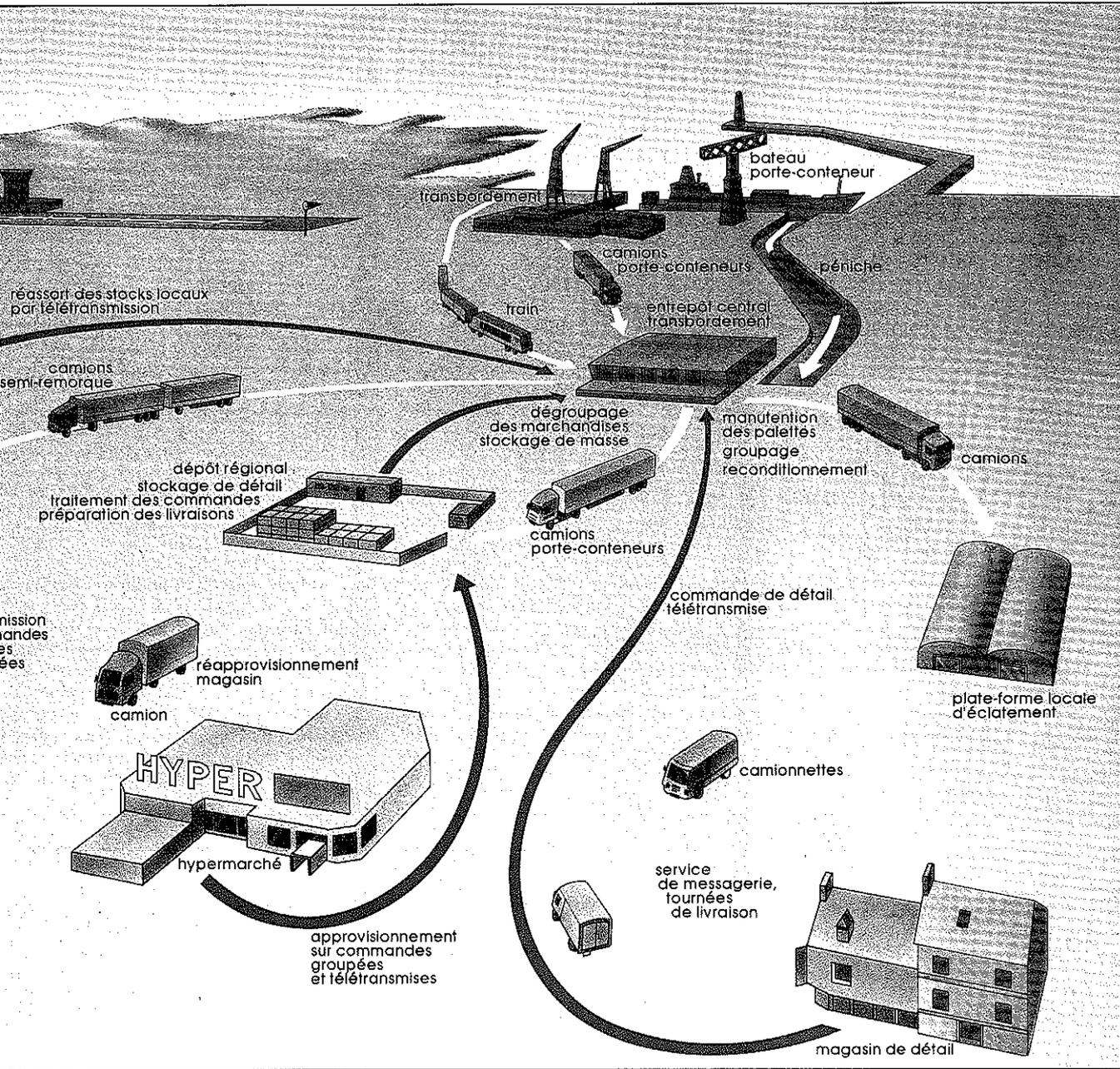


Figure 1. Pour maintenir leur activité, les transporteurs ont dû intégrer leurs prestations dans la politique globale de leurs clients, industriels ou distributeurs, et proposer à leurs clients la prise en charge de toute une série d'activités connexes au transport. Ici, sur une chaîne de transport reconstituée, le transporteur assure ou fait exécuter sous sa maîtrise toutes les opérations de transbordement, manutention et stockage depuis l'envoi des marchandises par l'expéditeur jusqu'à l'approvisionnement sur demande du destinataire. Alors qu'auparavant l'entreprise n'assurait que le transport des marchandises (et en utilisant un seul mode de transport), elle réalise aujourd'hui un grand nombre d'opérations intermédiaires. Pour ce faire, elle a dû investir avant tout dans un système informatique qui lui permet de gérer la complexité de sa chaîne et de rendre compte à ses clients de la position de leurs marchandises. Elle a également investi dans des réseaux d'entrepôts permettant des stockages intermédiaires, mais elle peut aussi mobiliser des sous-traitants qui deviennent ainsi autant de maillons de sa chaîne.

...mier temps, le transport est apparu comme une condition nécessaire, comme un préalable au développement économique. La construction de réseaux (routes, chemins de fer, canaux, ports, autoroutes, etc.) permettait la « libre circulation des biens » en réduisant les coûts de déplacement. Dans un deuxième temps, une fois le territoire convenablement équipé, il a été trop longtemps admis que les activités industrielles et commerciales s'accompagnaient d'un développement des transports, la gestion de ces derniers n'étant porteuse d'aucune stratégie industrielle innovatrice.

Depuis la fin des années soixante, les pays industrialisés sont passés d'une économie de masse, caractérisée par le transport de marchandises lourdes, à faible valeur ajoutée (matières premières, den-

rées agricoles, matériaux de construction, carburants, produits sidérurgiques) à une économie de la diversité aux flux diffus et très différenciés, portant sur des marchandises à forte valeur ajoutée. Aujourd'hui, les trafics lourds sont en constante régression, tandis qu'augmente le trafic de marchandises volumineuses à forte valeur ajoutée. Ainsi en France, entre 1985 et 1986, le tonnage transporté des produits manufacturés a augmenté de 6,3 % et celui des produits alimentaires de 2,65 %. Cette mutation traduit la transformation des structures industrielles et commerciales du pays. Dès lors que la distance ne constitue plus un obstacle grâce à la baisse des coûts de transport, la production peut se fragmenter à l'extrême en usines très spécialisées mais complémentaires, souvent fort éloignées les unes des autres.

Parallèlement, les exigences des consommateurs se sont accrues : ils veulent pouvoir disposer sans délai de produits exactement conformes à leur choix, et cela dans un marché devenu très concurrentiel. Les entreprises ne sont donc plus assurées de pouvoir écouler les stocks de marchandises déjà produites. Elles doivent impérativement s'orienter vers des formes d'organisation et de gestion permettant de ne fabriquer que les marchandises déjà vendues ou qu'elles sont assurées de pouvoir vendre. L'industrie automobile illustre parfaitement ce modèle industriel : aucune usine n'assure la totalité de la fabrication et le transport fait converger les pièces détachées nécessaires à l'assemblage des véhicules déjà commandés par les clients.

En réponse à cette mutation considérable, des pratiques très nouvelles de gestion de la circulation des flux de marchandises se sont développées dans les entreprises qui veulent éviter les stocks pléthoriques.

#### La logistique bouleverse le transport.

Lorsqu'une entreprise cherche à synchroniser les rythmes de ses flux de marchandises expédiés et reçus et donc à mieux maîtriser leur circulation physique, elle s'engage dans une démarche logistique. La logistique associe un double mouvement : le déplacement des marchandises vers l'aval et la remontée vers l'amont d'informations relatives aux différentes étapes de la circulation pour en permettre la régulation globale. A moyen terme, la logistique assure la programmation de ces flux et met en place les réseaux physiques et informationnels nécessaires. A court terme, elle cherche à obtenir une adéquation optimale entre les flux à écou-

ler et les moyens mis en œuvre. Enfin elle exerce un suivi permanent des marchandises. Par exemple, si au cours d'une livraison un camion est pris dans un embouteillage qui le retarde de plusieurs heures, son chauffeur peut avertir sa base de départ par radiotéléphone. Cette dernière entre en contact avec le destinataire pour décider des mesures à prendre.

Dans une chaîne logistique, une entreprise peut alors intégrer d'aval en amont toutes les opérations relatives à ses produits, depuis la distribution, le transport et le stockage jusqu'à la transformation et l'achat. Elle est ainsi assurée de pouvoir déclencher chaque opération le moment voulu. Pour pouvoir s'insérer dans les chaînes logistiques de leurs clients, les transporteurs proposent d'effectuer non seulement le transport des marchandises mais aussi de prendre en charge toutes les activités connexes au transport : manutention, stockage et gestion du stock, emballage, traitement des commandes, etc. Ce faisant, ils conçoivent une chaîne de transport complexe et multiservices (fig. 1). Ils peuvent d'ailleurs s'intégrer à plusieurs chaînes, à partir du moment où ils traitent et transportent des marchandises différentes, mais qui imposent les mêmes contraintes de circulation (mêmes circuits, mêmes paramètres physiques, etc.) De cette façon, les transporteurs diversifient leur clientèle tout en rentabilisant les investissements très lourds qu'ils ont dû consentir pour rénover leur activité.

Un exemple extrême est celui du transporteur américain qui a réalisé une chaîne de transport complète pour le compte de Buick, une filiale de la General Motors. Dans l'usine de Flint, c'est à partir de chaque commande de voiture reçue que

se sont élaborés les programmes de livraison, de montage, de fabrication et d'achat, l'usine d'assemblage demandant les pièces nécessaires. Le transporteur a construit un magasin de pièces détachées près du site de l'usine : il peut ainsi acheminer vers chacun des postes de travail les pièces que ces derniers réclament, en utilisant une chaîne de tri et de manutention entièrement automatisée. Il gère également le stock, aussi réduit que possible, pour ne pas risquer de paralyser la production, passe aux fournisseurs les commandes nécessaires à son réapprovisionnement en comparant les programmes prévisionnels de consommation établis par Buick aux sorties de pièces mesurées en temps réel. Bien sûr, c'est lui qui transporte ces pièces jusqu'à l'usine de Flint. La fiabilité et l'efficacité de la chaîne de transport, si elle se traduit par une augmentation globale du coût de transport, permet d'obtenir des économies plus que proportionnelles à la production et de ne fabriquer qu'en fonction de la demande.

Autre exemple, celui des grandes firmes de distribution, elles aussi tentées par le stock zéro, et qui n'ont pour toute réserve que les marchandises en rayon. Elles tendent à confier la logistique d'approvisionnement de leurs points de vente à des transporteurs. Ces derniers investissent dans des entrepôts spécialisés par catégorie de marchandise, ce qui leur permet de réceptionner les livraisons massives expédiées par les fabricants et ensuite de redistribuer quotidiennement ces très nombreuses marchandises en les regroupant dans un camion unique assurant la livraison quotidienne des points de vente. Ceci permet aux distributeurs de se concentrer sur leurs fonctions commerciales sans être freinés par les opérations logistiques qui leur sont liées. Mais là aussi s'impose l'informatisation de toute la chaîne.

Pour le secteur des transports, encore faiblement créateur d'emplois (+ 0,2 % entre 1980 et 1985), la participation active aux logistiques industrielles et commerciales est une occasion de croissance et de diversification à condition qu'il accomplisse une nécessaire transformation.

De façon générale, le rail, la voie d'eau et les cargos, qui assuraient le trafic lourd à des prix peu élevés, se voient supplantés par la route, le rail-route, l'avion, voire les navires porte-conteneurs, plus adaptés aux transports rapides et diffus et qui offrent une qualité de service constante. Dans le secteur du transport routier, les 28 000 entreprises qu'il comptait en 1986 ont dû rapidement diversifier leurs activités et le transport routier a accru sa part de marché, représentant aujourd'hui le double du trafic ferroviaire. Certains transporteurs très dynamiques ont réalisé un développement spectaculaire en proposant, autour d'un « noyau transport », une gamme de prestations très étendues à leurs clients. C'est le cas, par exemple, d'un important transporteur du Sud-Est de la France dont le tonnage transporté n'a augmenté que de 5,9 % entre 1985 et

*suite page 34*

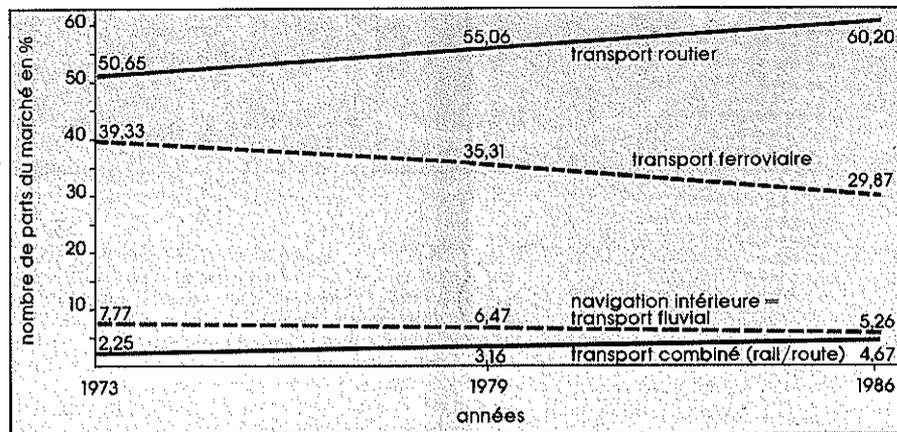


Figure 2. Le renouveau des transports de marchandises intervient à un moment où le trafic de marchandises diminue. Entre 1979 et 1986, le trafic a diminué en France de 17,3 %. Mais ce chiffre masque une évolution différente selon le mode de transport utilisé, représentée sur ce graphique. Si l'on considère l'évolution des parts de marché selon chaque mode, le transport ferroviaire et le transport fluvial apparaissent en constante diminution depuis 1973.

A l'inverse, la route s'est taillée la part du lion et son trafic, stable en tonnage transporté, représente maintenant le double de celui du rail, en dépit des efforts de la SNCF pour offrir des services comparables à ceux des transporteurs routiers. Seul le transport combiné rail-route connaît une progression régulière, en tonnage comme en parts de marché.

La rénovation du secteur est pourtant indispensable dans la perspective de l'ouverture des frontières à l'intérieur du Marché Commun. En 1992, les transporteurs français devront affronter la concurrence des transporteurs du nord de l'Europe qui ont déjà commencé à constituer des réseaux à l'échelle européenne.

MERCEDES.

LES ROUES SE

METTENT

A RÉFLÉCHIR.

suite de la page 32

1986 tandis que son chiffre d'affaires croissait de 12,4 %. Cela étant, les situations sont très contrastées d'une entreprise à l'autre. Les transporteurs employant plus de 50 personnes représentent 1,8 % des entreprises mais font 30 % du chiffre d'affaire total, tandis que 74 % d'entreprises de moins de 6 salariés n'en réalisent que 20 %.

Le transport ferroviaire, quant à lui, décline régulièrement en France comme en Europe. Pourtant les chiffres occultent

soixante. En 1986, 3,6 millions environ de conteneurs acheminent 80 à 90 % des marchandises diverses échangées entre pays industrialisés et 50 % des échanges « Nord-Sud » grâce à des navires spécialisés qui desservent rapidement un très petit nombre de ports avec une extrême régularité et une très grande ponctualité.

Le transport aérien, encore marginal dans l'acheminement des marchandises (6,33 milliards de tonnes/kilomètres en 1983 en France), augmente très réguliè-

en temps réel de l'exécution de sa prestation. Les impératifs de vitesse et de capacité de charge s'effacent devant ceux de régularité, de fiabilité et de ponctualité des opérations de transport.

L'amélioration des performances des systèmes de transport et des matériels que les transporteurs mettent en œuvre nous paraît liée avant tout aux techniques de traitement et de transmission des données. Les entreprises informatisent rapidement l'ensemble de leurs chaînes de

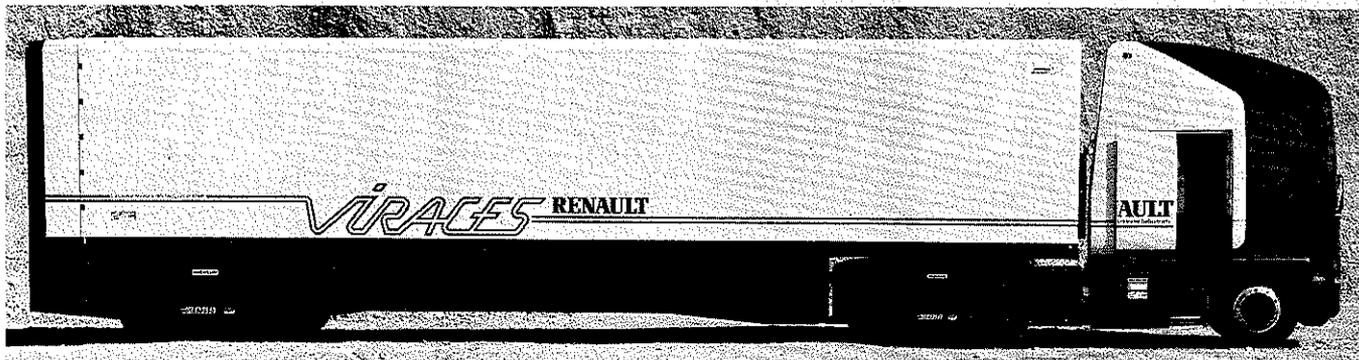


Figure 3. Concevoir le véhicule de transport de marchandises des années 1990, tel est l'objectif de VIRAGES (Véhicule industriel de recherche améliorant la gestion de l'énergie et de la sécurité), programme de recherches mené depuis septembre 1981 par Renault Véhicules Industriels avec le soutien du Ministère des transports et de l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie. Un premier véhicule expérimental (sur la photo), appelé VE 10 et présenté en 1985, a déjà ouvert la route vers l'amélioration générale de la productivité du transport et la conception du camion de demain comme élément de la logistique.

Ainsi, ce véhicule haut de gamme de 38/40 tonnes a-t-il fait l'objet d'études poussées d'aérodynamisme : le coefficient de résistance à l'air a été divisé par deux par rapport à celui d'un véhicule « normal » tel que le R 310 par exemple. De plus, la consommation d'énergie a été réduite de 10 à 20 % suivant les parcours par rapport à des véhicules de série actuels. Le moteur diesel Renault MIDR 06 20 45, d'une puissance de 320 ch., a en effet bénéficié d'une optimisation de la combustion et de la suralimentation par turbo, ainsi que d'une réduction des frottements internes. Par ailleurs l'électronique la plus récente a investi la chaîne motrice : un microprocesseur règle débrayage, synchronisation, passage de vitesses et embrayage. Enfin l'utilisation de matériaux nouveaux tels qu'alliages légers pour certaines parties du moteur, de la distribution ou du châssis, et matériaux composites pour la cabine, a permis de réduire le poids du véhicule. Sa sécurité a été considérablement accrue par la mise au point d'une cabine haute et à large visibilité, avec accès à droite par un escalier intérieur, par l'emploi de freinage à disque avec anti-bloqueur et de protections latérales. Le véhicule VE 20, qui est prévu pour 1988, devrait être encore plus innovant et préfigurer le véhicule du futur. Ce dernier fera appel à des automates et à des systèmes informatisés d'aide à la conduite. De plus, en tant qu'acteur de la logistique, il sera équipé de nombreux moyens de communication : radio-téléphone, transmission et réception de données numériques entre véhicule et poste central de gestion et entre camions eux-mêmes. L'informatique embarquée et des systèmes de localisation de véhicules devraient optimiser le chargement de marchandises ainsi que les temps et les distances parcourues, et par voie de conséquence les coûts de transport. Le poste de pilotage, à l'instar de celui des voitures « intelligentes » (voir La voiture intelligente, dans ce numéro) sera doté d'une ergonomie d'un type nouveau, disposant notamment de systèmes de synthèse vocale. (Cliché Renault Industries)

l'évolution récente de ce secteur. La SNCF s'est en effet lancée dans une politique de diversification, en offrant des services comparables à ceux du transport routier, quitte à recourir massivement à la route pour compléter un parcours principal par fer. Elle est, par le biais de ses nombreuses filiales routières et de ses innombrables correspondants, le plus grand transporteur routier français. De même, le transport combiné rail/route de conteneurs maritimes, de conteneurs terrestres ou de semi-remorques routières représentait en 1985 12,4 % du trafic ferroviaire contre 9,1 % en 1980. Il permet de combiner les avantages du fer (rapidité, fiabilité et coûts de production peu élevés), de la route (desserte « porte à porte ») et de la mer.

Le transport fluvial lui aussi, en dépit d'un réseau notoirement insuffisant en France, tente de bénéficier de l'essor du conteneur maritime en organisant des lignes très performantes sur les voies d'eau européennes, particulièrement sur le bassin rhénan avec Anvers et surtout Rotterdam comme têtes de ligne. La généralisation de l'usage du conteneur a bouleversé le transport maritime au début des années

ment. Il apparaît de plus en plus adéquat pour accélérer la circulation de marchandises entre deux établissements pratiquement dépourvus de stocks. Son surcoût est plus que compensé par les économies réalisées sur le coût du stockage, malgré les pertes de temps liées à la médiocrité des interfaces transport aérien/transport terrestre que les aéroports maîtrisent très mal.

Le renouveau des transports de marchandises s'exprime aussi par un spectaculaire mouvement d'innovation, qui va bien au-delà des classiques innovations dans les techniques de propulsion ou du développement d'infrastructures.

#### Innovation et Informatisation.

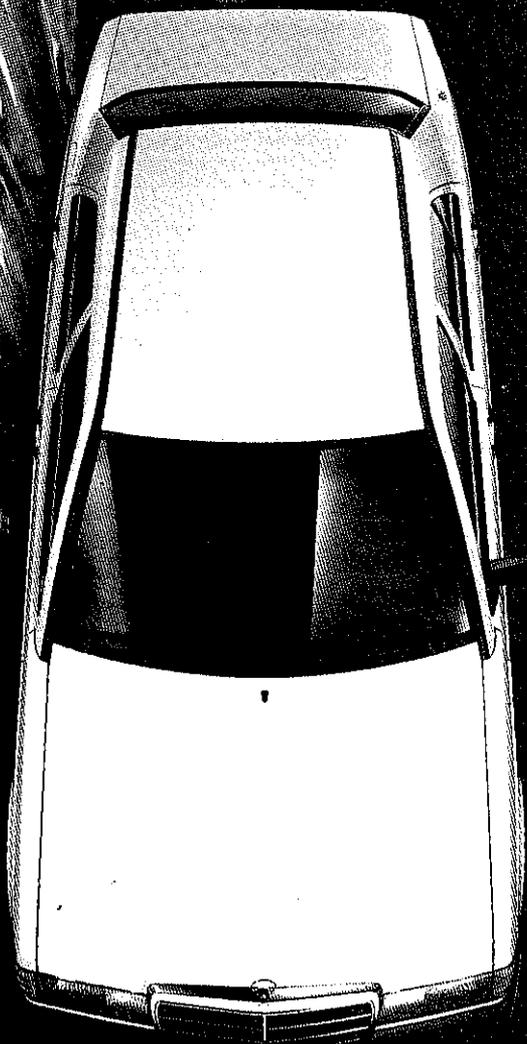
Depuis dix ans, on note une irrésistible montée des tâches liées à la gestion des informations nécessaires à l'optimisation du transport et bien plus encore des informations indispensables à la mise en œuvre des logistiques complexes dans lesquelles ces opérations s'insèrent. Lorsqu'un client met en compétition plusieurs transporteurs, il privilégie dans son choix l'aptitude du transporteur à lui rendre compte

transport pour qu'elles puissent s'intégrer aux chaînes logistiques elles-mêmes très informatisées de leurs partenaires fabricants et/ou distributeurs. Elles développent pour ce faire de très nombreux logiciels d'optimisation ou de simulation. Par exemple en 1983, la Compagnie Générale Maritime a consacré à la logistique de ses conteneurs un budget supérieur à 10 % de son chiffre d'affaires et près de 5 % de ses effectifs. Cette logistique utilise trois systèmes informatiques très puissants. PREST gère et suit quelque 70 000 conteneurs, en temps réel pour l'Europe et *off-line* pour le reste du monde : ainsi chacun des partenaires de la chaîne peut connaître la situation exacte des conteneurs. TRAIN, connecté à PREST, organise les parcours terrestres de pré- et post-acheminement des conteneurs. Quant à MARCY, il gère les réparations des conteneurs.

Des systèmes experts sont également à l'étude chez de grands transporteurs de façon à pouvoir répartir des « compétences expertes » auprès du personnel très dispersé qui doit prendre très rapidement de multiples décisions aux paramètres variés et fluctuants. Le système expert peut construire, par exemple, un itinéraire

suite page 36

# 2 ROUES QUI PENSENT. 1 ROUE QUI RÉAGIT. ON NE PATINE PLUS.



## SYSTÈME ASD MERCEDES.

Voici le premier différentiel à verrouillage automatique : 2 capteurs de rotation de vitesse sur les roues avant, 1 capteur sur le pont arrière, 1 calculateur électronique, le tour est joué. On ne patine plus sur une chaussée glissante, route détrempée ou autre. Comment cela se passe-t-il ? Tout simplement parce que les roues réfléchissent.

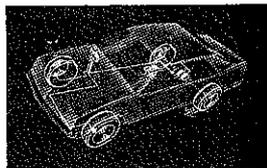
Démarrage en trombe, il faut se sortir vite d'une situation difficile. La roue droite repose sur l'asphalte sec tandis que

la roue gauche repose sur l'herbe humide. Réaction immédiate du calculateur électronique qui mesure en permanence la vitesse de rotation des roues. Le différentiel est automatiquement verrouillé. La force d'entraînement s'équilibre entre les deux roues motrices. Le démarrage est impeccable et le conducteur ne s'est aperçu de rien. Il a pu se concentrer sur le pilotage, l'ASD ayant assuré la qualité de la motricité durant la 1<sup>re</sup> phase d'accélération.

Quand la voiture n'a plus besoin d'aide pour s'arracher, l'ASD se déclenche automatiquement. Tout est normal.

L'intervention électronique n'aura duré que quelques fractions de secondes.

Seul un voyant lumineux aura indiqué au conducteur le travail de l'ASD. Quelle impression de facilité, quelle tranquillité d'esprit, quelle sécurité enfin ! C'est tout l'esprit de la technologie Mercedes sur laquelle on peut compter en toutes circonstances.



MERCEDES-BENZ

(suite de la page 34)

de livraison proche de l'optimum, en traitant « intelligemment » les données du problème à résoudre car il utilise des règles de raisonnement préalablement introduites dans sa base de connaissance par des « experts ». A puissance informatique et à coût égaux, le système expert propose une solution meilleure qu'un logiciel classique.

américain, le tout relié à un centre de coordination.

De façon plus banale, de nombreux transporteurs routiers ont déjà équipé leurs camions de radiotéléphones, en créant leur propre réseau ou en utilisant Radiocom 2 000, le système de téléphonie cellulaire embarquée qui devrait couvrir 85 % du territoire en 1990. Si l'essor

sera beaucoup moins coûteux et celui des marchandises pressées sera exécuté dans des conditions de qualité de service au moins égales à celles que proposent les transporteurs routiers. Si la SNCF parvenait à coupler ETNA avec le système ASTREE (Automatisation du Suivi en Temps REEL), destiné à permettre le suivi généralisé de la circulation des convois, en équipant chaque motrice de moyens de communication, elle pourrait proposer une information instantanée sur la position des marchandises.

## **ET SI L'ON TRAITAIT LES MARCHANDISES COMME DES VOYAGEURS ?**

Le transport des marchandises par wagons complets est aujourd'hui prisonnier d'un dilemme. Comment à la fois être rapide et assurer la « massification » nécessaire à l'économie, c'est-à-dire le rassemblement d'un nombre de wagons suffisant pour constituer un train rentable ? On s'aperçoit en effet que l'acheminement par train direct, qui est rapide, ne se justifie que pour des liaisons importantes, comme Nantes-Lyon par exemple. D'autre part, les opérations de triage permettent effectivement la constitution de trains rentables, à partir de wagons de provenances diverses. Mais ces opérations sont longues, et à ces délais techniques il faut encore ajouter l'attente du départ du train qui va dans la bonne direction.

La solution ? Un traitement, révolutionnaire à bien des égards, du transport des marchandises. Imaginons un instant qu'elles soient acheminées comme les voyageurs. D'une part, ce sont ces derniers qui, lors d'une correspondance, changent de train et non les wagons qui sont dételés puis dirigés vers un autre train. D'autre part, point fondamental, les voyageurs changent de rame tous à la fois, en *parallèle*, tandis que c'est en *série* que sont traités les wagons lors d'un triage. Abandonnons alors la notion de wagon : les marchandises sont placées dans des conteneurs, disposés eux-mêmes sur des rames « indéformables », c'est-à-dire constituées d'un nombre défini de plates-formes inséparables, circulant à vitesse élevée. Le triage est remplacé par un transbordement latéral des conteneurs

d'une plate-forme sur le quai, puis du quai à une autre plate-forme. Le parallélisme dans le traitement permet la brièveté de l'arrêt. Ceux des conteneurs qui ont été déchargés attendent peu de temps une correspondance établie selon un « plan de transport », en quelque sorte l'équivalent de l'horaire, avec un système de réservation.

Cette technique, si elle voit le jour, entraînera des délais courts pour le client, de l'ordre d'un jour, et fiables en raison du système de réservation. Il s'ensuivra aussi un meilleur « confort » pour les marchandises grâce à l'utilisation de matériel spécifique pour les rames indéformables. L'usage intensif de ces rames, la diminution des coûts d'entretien, et celle des coûts de conduite par suite de la réduction du parcours des trains qui seront mieux remplis, devraient entraîner une économie sensible. A cela viendra s'ajouter une baisse probable du coût du transbordement par rapport à celui du triage. Signalons enfin qu'un tel traitement du transport devrait être techniquement possible : chacun des problèmes élémentaires à résoudre (manutention, guidage, déplacement, etc.) a déjà reçu quelque part dans le monde une solution, grâce à la robotique. Mais il reste à résoudre un problème de dimension et d'intégration dans un système.

*Patrice Bernard  
Adjoint au Directeur des études, de la  
planification et de la recherche de la SNCF*

D'autres moyens permettent également de traiter rapidement l'information en calculant une chaîne d'information sur la chaîne de transport. C'est par exemple le codage systématique (par code à barres) de chaque colis ou unité de charge qui permet de les orienter, de les suivre et de les localiser sans délai. Cependant, le développement de cette technique est gêné par la multiplication des standards. En outre cela implique que les points d'expédition, de réception et de passage intermédiaire ainsi que les camions soient équipés. A ce titre certains systèmes projetés ou en cours d'exploitation sont très prometteurs. Le système LOCSTAR, actuellement développé par le CNES et le Centre de productivité des transports, doit pouvoir localiser des camions et permettre l'échange de messages courts par satellite. La couverture géographique de l'Europe sera progressivement réalisée entre 1987 et 1994 (Europe de l'Est exclue). Ce système est comparable au système américain GEOSTAR, notamment utilisé par le transporteur Ryder, qui a équipé chacun de ses tracteurs routiers d'un terminal (informatique embarquée et moyens de télétransmission) ainsi que ses terminaux de fret répartis sur l'ensemble du territoire

actuel des technologies de l'information et de la communication a des répercussions spectaculaires sur l'organisation des transports, elles ont toujours été étroitement associées aux réseaux de transport. Pour prendre place sur le marché des trafics diffus, c'est-à-dire les marchandises à haute valeur ajoutée, la SNCF s'est engagée dans une très profonde réorganisation de ses flux de transport. Le programme ETNA (Evolution Technologique pour un Nouvel Acheminement), dont l'achèvement est prévu pour la fin de la décennie, utilisera l'informatique complexe de la « Gestion centralisée du trafic marchandises » pour gérer l'acheminement des wagons selon trois vitesses. Dans un nombre réduit de gares de triage, les wagons isolés seront regroupés en fonction du délai d'acheminement souhaité par l'expéditeur. Pour un tarif élevé, les wagons « urgents » seront insérés en priorité dans un convoi, qui sera complété ensuite par des wagons « normaux » puis, si c'est possible, par des wagons « lents » qui bénéficieront d'un tarif beaucoup plus avantageux.

La SNCF fonde de grands espoirs sur ETNA : face à la concurrence routière, le transport de marchandises peu pressées

### **La fin du transport unimodal ?**

Dans le domaine des transports de marchandises, la conséquence essentielle, et pourtant encore très mal appréciée, du passage d'une offre de traction conventionnelle à une offre de prestation de transport multiservices est le déclin progressif des engins de transport unimodaux.

Par exemple, la généralisation du conteneur dans les échanges internationaux a eu un double effet sur le transport maritime. La structure des navires s'est profondément modifiée : les porte-conteneurs sont maintenant réductibles à un engin de propulsion et une plate-forme portant les conteneurs, qui peuvent aussi être placés sur une plate-forme routière, ferroviaire ou fluviale. Les armateurs considèrent qu'une fraction seulement de leur activité reste en mer : certains n'hésitent pas à affirmer que la compétition entre armateurs se gagnera à terre, dans l'organisation des pré-et post-acheminements.

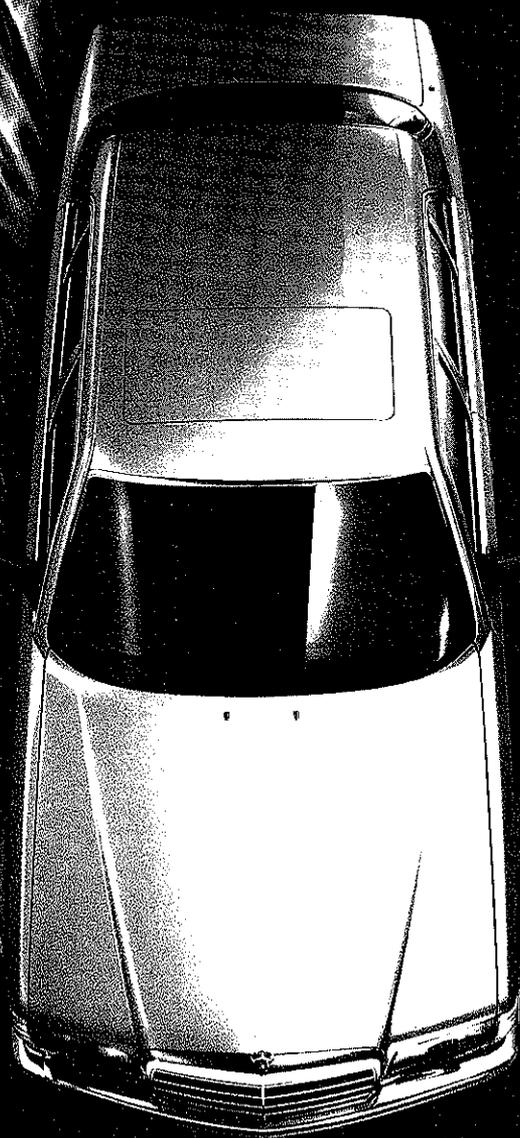
Si cette tendance se confirmait, on pourrait assister à la dissociation des matériels de transport en quatre engins distincts pouvant éventuellement se combiner : engin de traction, engin porteur, engin de manutention et caisse ou conteneur amovible. Il n'est pas jusqu'à l'avion-cargo du futur dont la cellule pourrait être dessinée pour transporter des conteneurs multimodaux. Actuellement, tous les avions-cargos ne sont en fait que des adaptations d'avions conçus pour le transport de passagers civils ou militaires.

Si certains constructeurs continuent à développer des matériels adaptés à des usages spécifiques, comme le programme Virages de Renault Véhicule Industriel (fig. 3), la tendance est néanmoins à l'interchangeabilité des engins de transport. La SNCF développe un wagon multifret, une plate-forme surbaissée, qui préfigure ce que pourrait être le wagon universel remplaçant les innombrables wagons spécialisés, rapidement obsolètes du fait de la modification de la structure des frets. Cela signifierait la mort du wagon conventionnel, l'abandon des triages (voir encadré), préfigurant peut-être aussi le déclin du camion dans sa conception actuelle.

L'adoption de gabarits plus volumineux se traduit par l'apparition dans le transport international de conteneurs « hors norme », qui impliquent une adaptation

*suite page 38*

# 4 ROUES QUI PENSENT. 2 ROUES QUI RÉAGISSENT. ON NE DÉRAPE PLUS.



## SYSTÈME ASR MERCEDES.

Voici le premier système de régulation automatique de la motricité. Un capteur sur chaque roue AV, 2 capteurs en sortie de pont, un calculateur électronique, un bloc hydraulique de freinage, un accélérateur électronique. Inventaire terminé. Action.

L'ASR est un véritable système ABS à l'envers. Si l'ABS évite le blocage d'une roue suite à un freinage trop brutal, l'ASR empêche "l'emballement" d'une roue quand la route

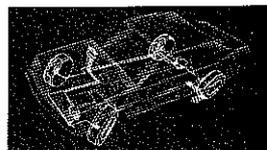
provoque un phénomène de patinage. Amorce d'un virage. La roue avant droite et la roue arrière droite reposent sur de la boue, de la neige ou du verglas. Pensée fulgurante de l'électronique qui analyse la situation. Réaction fulgurante de la mécanique.

Les roues qui commencent à patiner sont automatiquement freinées tandis que "l'accélérateur électronique" diminue la puissance du moteur. La voiture poursuit sa trajectoire avec une parfaite stabilité.

Avec l'ASR, la vitesse de rotation des quatre roues est

contrôlée en permanence. Les différences de vitesse sont calculées et analysées. Le résultat est immédiat.

Tout cela se passe sans que le conducteur s'en aperçoive. C'est bon pour la tranquillité d'esprit. Mais Mercedes pense à tout. Quand l'ASR travaille un voyant lumineux vous le signale. On ne néglige pas une sécurité supplémentaire.



MERCEDES-BENZ

suite de la page 36

de tous les engins porteurs ainsi que des engins de manutention. Aux Etats-Unis et au Canada, de nouveaux ensembles routiers de près de 50 mètres de long commencent à circuler : un seul tracteur tire deux remorques portant chacune une caisse de 16 mètres de long, suivies d'une remorque portant une caisse de 8 mètres.

Du côté des infrastructures de transport, la principale innovation — mais elle est d'importance — est le développement rapide de terminaux de fret multimodaux et multiservices sur les principaux pôles de fret et nœuds de communication. Ces terminaux ont une triple vocation : ils permettent le passage d'un mode de transport à un autre, du wagon au camion, du navire au wagon, etc. ; ils assurent, à l'occasion du transbordement des marchandises, des prestations complémentaires (stockage intermédiaire, reconditionnement, préparation des commandes et des charges) ; enfin, ils contribuent à la polarisation en un lieu approprié de toutes les données nécessaires à la gestion optimale des frets. Des courants de trafic s'établissent entre ces terminaux qui se structurent en réseaux hiérarchisés régionaux, voire continentaux. En procédant à la collecte des marchandises au départ et à leur répartition à l'arrivée, ils parviennent à équilibrer leurs trafics et à coordonner une forme renouvelée de transport de masse sur un nombre fini d'itinéraires et l'indispensable transport diffus sur l'ensemble de la région que chacun d'entre eux dessert.

A partir du mouvement de renouveau que connaît le transport des marchandises, on peut déjà s'aventurer à imaginer l'évolution future de ce secteur.

Tout d'abord, la notion de mode de transport s'efface. Le secteur se dissocie entre des entreprises qui s'affranchissent de leur mode d'origine, quand elles ne sont pas directement issues d'une profession intermédiaire (commissionnaires de transport, transitaires) pour organiser des chaînes de transport et celles qui continuent à exploiter un seul mode (route, rail ou navire). Parmi ces dernières, on peut encore distinguer deux catégories de transporteurs : ceux qui offrent une prestation extrêmement classique, réductible à la simple traction, et ceux qui, ayant investi dans des matériels de transport spécialisés, sont des exploitants qualifiés. Pour ces derniers, la stabilité est plus grande, mais aussi le risque, lié à l'éventuelle obsolescence de leur technique.

Cette dualité du secteur des transports contribue à sa hiérarchisation : les organisateurs-gestionnaires de chaînes de transport multiservices intègrent en effet les offres de traction banalisées ou spécialisées dans leurs chaînes. Des relations de sous-traitance et de dépendance s'ensuivent : elles sont d'autant plus sévères et rigoureuses que le transporteur sous-traitant exploite une technique simple et banale. Cela dénote l'emprise croissante de la gestion sur la technique, inversant les priorités traditionnelles dans le transport.

Ensuite, au fur et à mesure que la logistique devient importante dans l'entreprise, les décisions concernant le transport se prennent à un niveau de plus en plus élevé. Traditionnellement, le responsable du transport des marchandises d'un établissement industriel et commercial traitait avec un partenaire local. Aujourd'hui, les responsables de la logistique dans une entreprise insèrent la plupart de leurs décisions concernant le transport dans une politique beaucoup plus globale. Ils traitent donc de façon privilégiée avec des transporteurs ayant une envergure multi-régionale, voire nationale. Demain, avec l'ouverture des frontières européennes, la logistique se définira à l'échelle de la Communauté et fera appel à des transporteurs de dimension européenne. Très vraisemblablement, ces transporteurs se recruteront parmi les prestataires multiservices. S'appuyant sur un réseau européen de terminaux de fret, ils sauront fort bien mobiliser les transporteurs, plus petits ou centrés sur l'exploitation d'un seul mode de transport. A moins que ces derniers puissent, en se regroupant, se diversifier et jouer de l'« effet réseau » dont savent si bien jouer les grands transporteurs. Or sur ce plan, les transporteurs du nord de l'Europe, Belges, Hollandais, Allemands et Britanniques, sont sans doute en avance sur les transporteurs français, notamment du fait de leur maîtrise des technologies liées au traitement des informations sur le fret.

Dans une économie industrialisée, où tout tend à devenir circulation immédiate par réduction simultanée des stocks et des délais, le transport des marchandises doit impérativement stabiliser et garantir la qualité de son offre. Compte tenu des ris-

ques encourus, il nous semble essentiel de tenir le plus grand compte des inévitables composantes sociales et organisationnelles de l'innovation technologique, aussi bien dans les entreprises dont le rôle est de « produire » ces innovations que dans celles, compétition oblige, qui les mettent en œuvre. En effet l'innovation technologique ne saurait être réduite à sa seule dimension technique. Son succès implique l'acquisition par les hommes du transport de nouvelles qualifications et d'autres partages des tâches entre l'homme et la machine. Tout ceci va transformer profondément les cultures très caractéristiques des métiers du transport (cheminots, bateleurs, routiers et marins). L'innovation technologique implique également la modernisation des organisations, des méthodes de gestion et des procédures : les cultures d'entreprise, traditionnellement très rigides, hiérarchisées ou paternalistes du monde des transports sont promises à une évolution rapide à partir du moment où il est demandé aux personnels d'adhérer aux objectifs de la firme.

Le mouvement tout à la fois économique, technique, social et culturel, qui touche le transport de marchandises dans son ensemble, contribue au recul de la trop fameuse spécificité derrière laquelle ce secteur se retranchait volontiers. Il pouvait ainsi s'enfermer dans des approches modales étroites et fragmentaires, dans lesquelles il trouvait son, ou plutôt, ses « identités » et ses rivalités internes. En revanche, en s'ouvrant sur un monde qu'il a, paradoxalement, trop longtemps négligé, le transport s'engage sur la voie d'un renouveau, qui l'entraîne bien au-delà de ses frontières devenues un peu étriquées. ■

## Pour en savoir plus

Sur le rôle des transports dans le développement économique :

● F. Braudel, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*, Armand Colin, Paris, 1979.

● F. Braudel, *L'identité de la France*, t. 2, Arthaud-Flammarion, Paris, 1986.

● J. Colin et M. Savy, *Régions et transports des marchandises*, Travaux et recherches de prospective n° 86, Documentation française, Paris, 1984.

● E. Quinet, L. Touzery, H. Trierel, *L'économie des transports*, Economica, Paris, 1982.

● V. Sandoval, *Le transport, 1960-1984*, OEST, Ministère des transports, 1987.

● G. Bessay, *Prospectives transports 2005*, OEST, Ministère des transports, 1987.

Sur le secteur des transports :

● M. Frybourg (sous la dir.), *Enseignement supérieur de transport*, CNAM, Ed. Paradigme, Editec 14, Caen, 1986.

Une somme actualisée chaque année sur le secteur des transports au plan institutionnel, technique, économique et social.

● E. Quinet (sous la dir.), *Les entreprises de transport*, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1985.

● International Road Transport Union, *L'efficacité du transport routier confrontée à l'évolution de la demande et des moyens technologiques disponibles*, Genève, 1986.

● 69<sup>e</sup> table ronde de la Conférence européenne des ministres des Transports, *Evolution de la motivation des usagers en matière de choix modal en transport de marchandises*, OCDE, Paris, 1985.

Sur la logistique :

● D. Tixier, H. Mathe, J. Colin, *La logistique au service de l'entreprise : moyens, mécanismes et enjeux*, Dunod Entreprise, Paris, 1983.

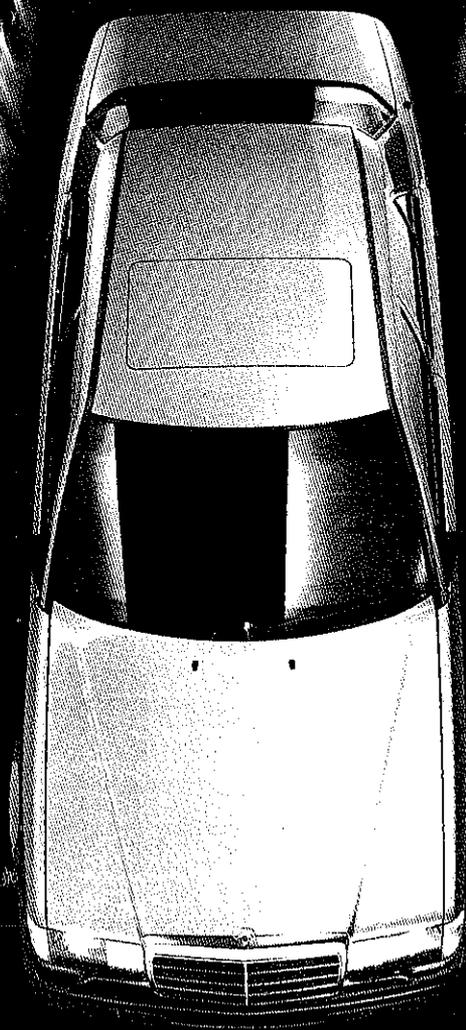
● 76<sup>e</sup> table ronde de la Conférence européenne des ministres des Transports, *Le rôle des chargeurs et des transporteurs dans la logistique : le cas de la France*, OCDE, Paris, 1987.

● D.L. Anderson, *Logistics Data Interchange : an emerging competitive weapon for shippers*, Temple Barker and Sloane Inc., Lexington Mass 02173, USA, 1986.

Sur les métiers du transport :

● P. Tripiet (sous la dir.), *Travailler dans le transport*, L'Harmattan, Paris, 1986.

# 4 ROUES QUI PENSENT. 4 ROUES QUI RÉAGISSENT. ON NE FAIT PAS PLUS SÛR.



## SYSTÈME 4 MATIC MERCEDES.

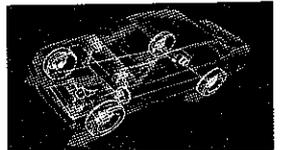
Voici le premier système de motricité intégrale à enclenchement automatique avec deux verrous de différentiel. Plus simplement il s'agit d'un pont spécial relié à deux demi-arbres de transmission pour les roues avant, un capteur de rotation sur chaque roue avant, un capteur sur le pont arrière, un calculateur électronique. A la base la voiture est à 2 roues motrices. Dès que la situation l'exige, le 4-Matic permet de passer automatiquement en 4 roues motrices.

En fait le 4-Matic intervient progressivement à 3 niveaux : sur l'enclenchement de l'entraînement avant, sur le verrouillage du différentiel central, et, si nécessaire encore, sur le verrouillage du différentiel du pont arrière. Tout cela en quelques millièmes de seconde.

La voiture rentre dans une courbe. Les roues se mettent à glisser insensiblement. Tenue de route précaire. Réaction immédiate de l'ordinateur central du 4-Matic. Les roues avant deviennent motrices. La voiture avale la courbe sans sourciller.

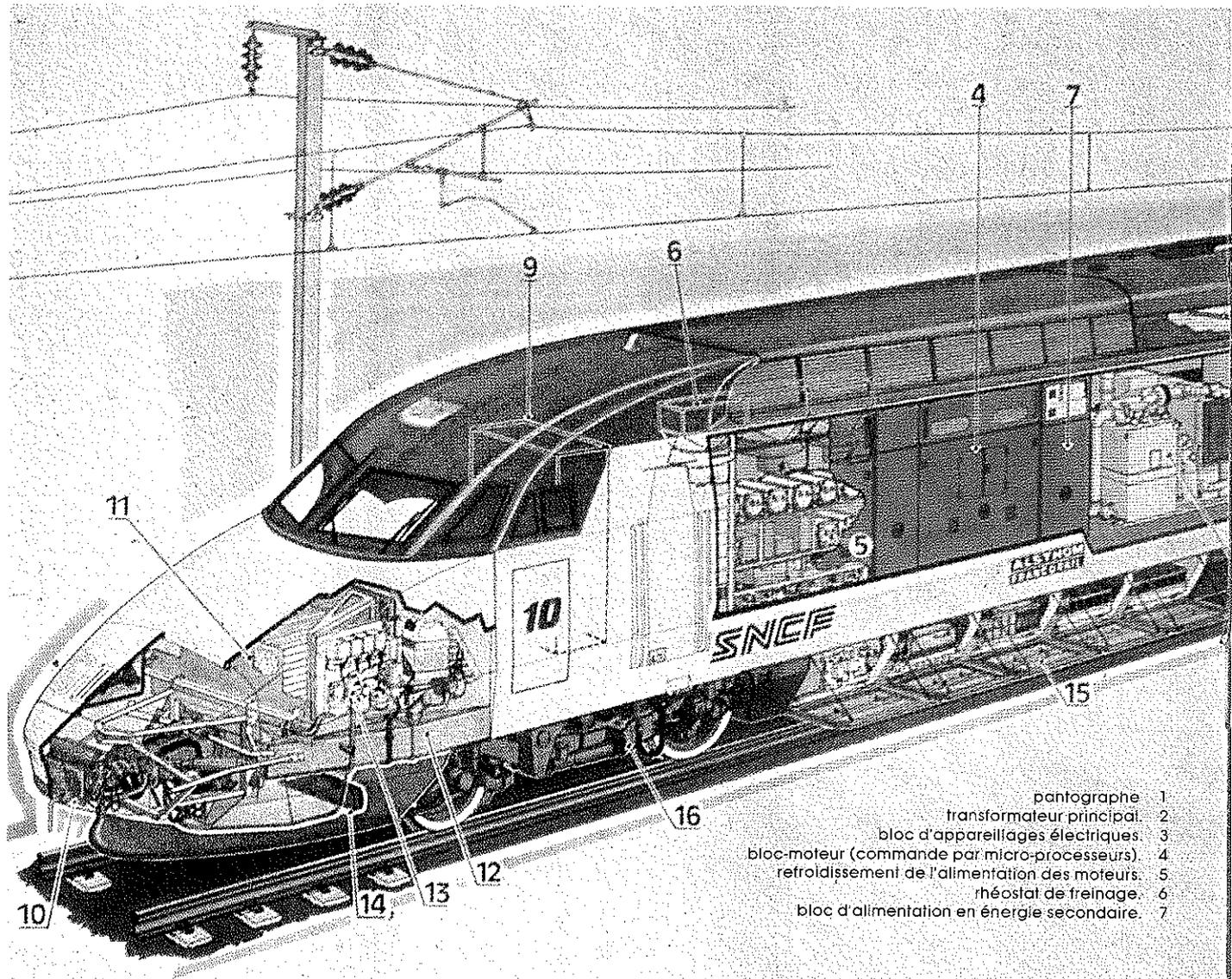
Plaques de verglas, plaques d'eau, dépôts de boue, gravillons,

sable, neige, toutes ces embûches nécessitent un comportement différent du conducteur et un pilotage délicat. Aujourd'hui c'est le 4-Matic qui agit et qui vous prévient de son intervention grâce à un voyant lumineux. Une sécurité supplémentaire. On ne patine plus, on ne dérape plus, on ne fait pas plus sûr. La maîtrise de l'automobile est maintenant proche de la perfection. Mercedes oblige.



MERCEDES-BENZ

# TGV: vers une troisième



- 1 pantographe
- 2 transformateur principal
- 3 bloc d'appareillages électriques
- 4 bloc-moteur (commande par micro-processeurs)
- 5 refroidissement de l'alimentation des moteurs
- 6 rhéostat de freinage
- 7 bloc d'alimentation en énergie secondaire

inauguré en 1981, le TGV — train à grande vitesse — reliant Paris à Lyon atteint aujourd'hui quotidiennement la vitesse de 270 km/h sur la voie qui lui est réservée. La deuxième génération qu'est le TGV Atlantique atteindra, tout au moins sur la ligne nouvelle, 300 km/h entre Paris et Nantes dès 1989, puis Bordeaux en 1990 (fig. 1). Dès aujourd'hui, les progrès de l'électrotechnique, de la mécanique et de la micro-électronique laissent entrevoir encore de nouvelles améliorations sensibles. La prochaine génération de TGV circulera-t-elle à 400 km/h et sera-t-elle très différente des deux premières ? Cherchons au travers des évolutions techniques prévisibles les grands traits des TGV futurs.

L'idée de base du TGV est le recours à une ligne nouvelle, spécifiquement empruntée par les rames à grande vitesse, qui vient se greffer aux lignes existantes à

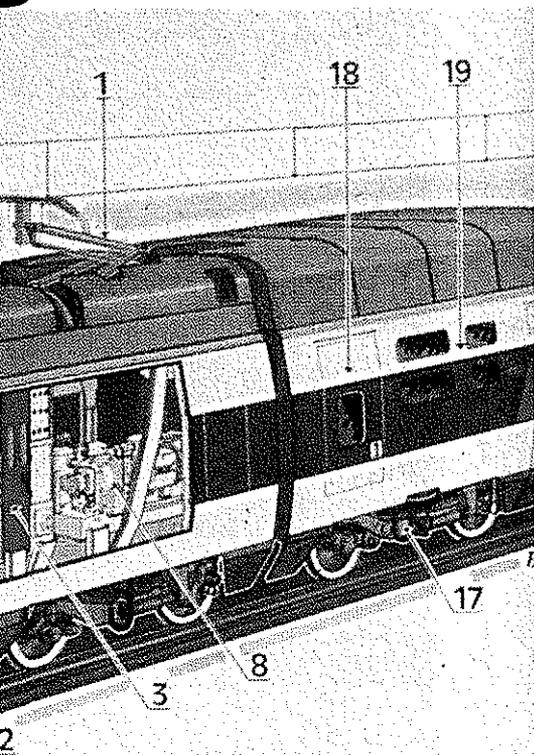
proximité des grandes agglomérations, et bénéficie totalement des installations ferroviaires préexistantes en milieu urbain. Outre le fait d'autoriser les très grandes vitesses, la spécialisation des voies permet d'augmenter la densité du trafic du fait de l'homogénéité des vitesses et de construire des lignes nouvelles de manière économique : l'absence de trafic lourd (marchandises) autorise des pentes plus fortes — du même ordre que celles existant sur les autoroutes — ce qui réduit les coûts d'infrastructure en limitant le nombre et la longueur des viaducs et des tunnels. La spécialisation conduit également à une économie sensible sur les coûts de maintenance. En effet, les circulations lourdes provoquent usure et déformation des voies. Les qualités géométriques indispensables à la grande vitesse entraîneraient donc des coûts d'entretien excessifs si l'on

juxtaposait ces deux types de trafic. Pour que les avantages de la spécialisation jouent pleinement, il convient de concevoir des rames TGV présentant une masse par essieu aussi réduite que possible. La plupart des options techniques fondamentales des rames TGV vont donc résulter de ce souci de légèreté.

Pour réduire la masse des rames, l'effort technologique à accomplir doit porter essentiellement sur la structure mécanique et sur la motorisation. A cette fin, les rames TGV ont été conçues sous une forme articulée, ce qui permet une réduction directe des masses. En effet, dans les trains classiques, les extrémités de chaque voiture sont portées par un bogie (dispositif constitué par deux essieux montés sur un châssis mobile par rapport au châssis des voitures). L'architecture du TGV est tout autre, car il ne comporte plus qu'un

# génération

par Daniel Lancien



- 8 générateur d'air comprimé.
- 9 équipements de sécurité et ordinateur de bord.
- 10 attelage automatique.
- 11 bouclier d'absorption des chocs.
- 12 éléments principaux du châssis.
- 13 panneau de commande du freinage.
- 14 capteurs de signalisation.
- 15 coffres d'appareillage.
- 16 bogie moteur.
- 17 bogie porteur.
- 18 compartiment bagages.
- 19 compartiment voyageurs.
- 20 toiture en alliage léger.

**Conçu en France dans les années 1960, le TGV — ou train à grande vitesse — a révolutionné le transport ferroviaire. Inauguré en 1981, il relie aujourd'hui Paris à Lyon à la vitesse de 270 km/h. Demain, roulant à 300 km/h, il mettra Nantes à deux heures de Paris, puis Bordeaux à trois heures. L'aspect général de ce TGV de « deuxième génération » n'est guère différent de celui du premier. Pourtant il s'en distingue profondément, tant par l'emploi de nouveaux matériaux que par un recours grandissant à l'informatique, qui contribuent à le rendre plus confortable, plus sûr et plus économique. Après-demain, disposerons-nous d'un TGV « de troisième génération », se déplaçant à la vitesse de 400 km/h ? Sera-t-il, lui aussi, différent de ses aînés ?**

*Figure 1. Le concept de TGV — ou train à grande vitesse — est né en France à la fin des années 1960. Depuis 1981, le TGV Sud-Est fait partie de notre vie quotidienne, et déjà se profile à l'horizon le TGV Atlantique qui, dès 1989, reliera Paris à Nantes, puis à Bordeaux en 1990. Techniquement, les rames du TGV Atlantique — dont la maquette est représentée ici — seront différentes de celles du TGV Sud-Est. Elles posséderont des moteurs et des freins plus puissants, un captage de courant électrique de conception originale, une suspension améliorée, des véhicules au profil conçu pour être encore plus aérodynamique grâce à la conception assistée par ordinateur (CAO). Elles seront aussi plus légères, car tous leurs constituants bénéficieront de l'arrivée de nouveaux matériaux et alliages, ainsi que des progrès de la miniaturisation en électronique. Enfin, elles disposeront d'ordinateurs de bord, assurant notamment le respect de la signalisation transmise directement au tableau de bord au moyen de capteurs (14). L'avenir plus lointain nous réserve-t-il un TGV de troisième génération, tout aussi différent de ses prédécesseurs ? (Cliché SNCF-CAV)*

cul bogie entre deux voitures adjacentes. Au total, une rame TGV a donc presque deux fois moins de bogies. De plus, la disposition du bogie entre caisses permet d'abaisser sensiblement la hauteur de plancher dans la partie habitable des voitures et finalement de réduire la section transversale (ou « maître couple ») de la rame. Il en résulte des gains directs sur la masse et une économie sur la puissance des moteurs par réduction de la résistance à l'avancement de la rame ou « traînée » aérodynamique. Remarquons ici que le concept de rames non découplables — et clone de longueur fixe — peut présenter un inconvénient pour l'exploitation. En fait, cet inconvénient est limité par la possibilité de jumeler des rames pour faire face aux fortes demandes.

Tels sont les concepts fondamentaux mis en application sur le TGV Paris Sud-

Est. En raison de leurs avantages, ils ont été repris lors de la définition du TGV Atlantique et seront maintenus à l'avenir. Est-ce à dire que les rames de TGV de la troisième génération seront identiques à celles que nous connaissons ? Il est vraisemblable que l'architecture générale du train restera pratiquement inchangée, car l'évolution des techniques n'a guère d'incidence sur elle. Mais comme nous allons le voir, les futurs TGV pourront être techniquement très différents de leurs aînés.

#### Des moteurs plus légers et plus puissants.

La motorisation du TGV est et restera « tout électrique ». La traction des rames du TGV Sud-Est est assurée par douze moteurs, à courant continu, équipant six bogies — trois à chaque extrémité — sur un total de treize. Cependant, pour attein-

dre des vitesses de l'ordre de 300 km/h, il fallait des engins plus puissants. Après de nombreuses recherches, le choix pour le TGV Atlantique s'est porté sur des moteurs à courant alternatif dits « synchrones autopilotés ». Ces moteurs sont à la fois moins volumineux et plus puissants. En effet, dans ce type de moteur, la variation de flux électro-magnétique n'est plus obtenue par un dispositif mécanique interne (balais-collecteur), lourd et encombrant, mais par un dispositif électronique externe. De plus l'utilisation des moteurs synchrones autopilotés est rendue possible, aujourd'hui, par les progrès récents de la technologie des semi-conducteurs : des dispositifs électroniques, appelés « onduleurs », permettent de faire varier la fréquence du courant, et donc de régler la vitesse de ces moteurs.

L'utilisation de ce type de moteurs a

Daniel Lanclen, ingénieur des Arts et Métiers et de l'Ecole Supérieure d'Électricité, anime le département recherche cybernétique et technique à la direction des études, de la planification et de la recherche de la SNCF.

amené une réduction considérable de l'encombrement des équipements de traction. En outre, en 1984-1985, des recherches ont été effectuées pour la SNCF par deux constructeurs alors indépendants, Alsthom et Jeumont-Schneider, afin de réduire les pertes d'énergie dans les moteurs, optimiser leurs dimensions et améliorer leur ventilation. Elles ont abouti à la mise au point d'un moteur capable de développer une puissance de 1 100 kW en permanence (au lieu des 800 kW prévus initialement), et qui ne pèse que 1 450 kilos. Aussi, dans le TGV Atlantique, il devient possible de concentrer la puissance sur quatre bogies moteurs au lieu des six que l'on trouve sur le TGV Sud-Est, tout en autorisant une vitesse plus élevée et un plus grand nombre de voitures par rame (10 au lieu de 8). De surcroît, ce moteur peut développer jusqu'à 1 300 kW au démarrage et, en régime de croisière, sa température ne dépasse guère 130 °C alors qu'il est capable d'en supporter 250, ce qui réduit fortement les risques de panne. Bref, pour une masse globale analogue à celle de la motorisation du TGV Sud-Est, la puissance du TGV Atlantique sera plus que doublée.

La puissance des moteurs existants suffit pour atteindre des vitesses de 350 à 400 km/h. En effet, l'adhérence roue-rail n'est que partiellement sollicitée sur le TGV Atlantique, quatre bogies sur quinze seulement étant moteurs. Il suffirait donc de porter à six leur nombre pour dépasser théoriquement la vitesse de 350 km/h. En poursuivant ce raisonnement, on constate que, en fait, la puissance de traction de l'engin moteur n'est utilisée que partiellement dans la majeure partie du trajet, tant sur le TGV Sud-Est que sur le TGV Atlan-

conventionnel que l'on aurait « déroulé ». Cette configuration permettrait de réduire la puissance des moteurs embarqués ou inversement d'augmenter les pentes d'une ligne nouvelle, et donc de diminuer encore son coût de construction en limitant le nombre et la longueur des ouvrages d'art.

Cependant, d'autres progrès techniques seront nécessaires pour réduire encore le coût du « kW installé ». C'est pourquoi, dans les années à venir, les recherches sur les chaînes de traction avec moteurs sans dispositif balais-collecteur viseront encore à augmenter la puissance des moteurs par unité de masse. Elles porteront sur la conception et les matériaux des bobinages, isolants et systèmes de ventilation. Par ailleurs, on peut penser que les progrès constants des semi-conducteurs conduiront à des gains de masse sensibles pour les dispositifs d'alimentation.

#### Capter toujours plus d'énergie...

Quelle que soit la solution adoptée pour accroître la puissance de traction, il faut évidemment capter une énergie électrique plus intense. Sur le TGV, comme sur tout train électrique, ce captage est assuré par un système frottant, composé d'un « pantographe » installé sur le toit de la rame, qui transmet le courant de la ligne électrique suspendue (ou « caténaire ») aux moteurs. Ce système doit concilier des impératifs *a priori* contradictoires : éviter les décollements, même fugitifs, du pantographe, tout en limitant la pression exercée aux points de contact entre

teur est variable. Un petit « bras », formant l'étage supérieur, absorbe les petites variations dues à la vitesse élevée du train.

Cette structure a été considérablement simplifiée pour le TGV Atlantique, où le petit bras du pantographe a été remplacé par un piston (fig. 2B). La nouvelle conception est plus légère que la précédente et offre moins de résistance à l'avancement. Pour arriver à ce résultat, outre des expérimentations nombreuses en ligne et en soufflerie, des modèles mathématiques ont été utilisés pour simuler le comportement de l'ensemble pantographe-caténaire. Ces modèles « numériques », que la puissance actuelle des ordinateurs rend très illustratifs de la réalité, devraient dans l'avenir contribuer encore à l'amélioration des pantographes ; des asservissements électriques ou hydrauliques pourraient éventuellement réduire encore la pression de contact et donc l'usure. Au-delà, il faudrait s'interroger sur l'intérêt d'un captage de courant sans contact, par arc électrique, en maintenant un espace de quelques millimètres entre le pantographe et la caténaire. Enfin, et tou-

B

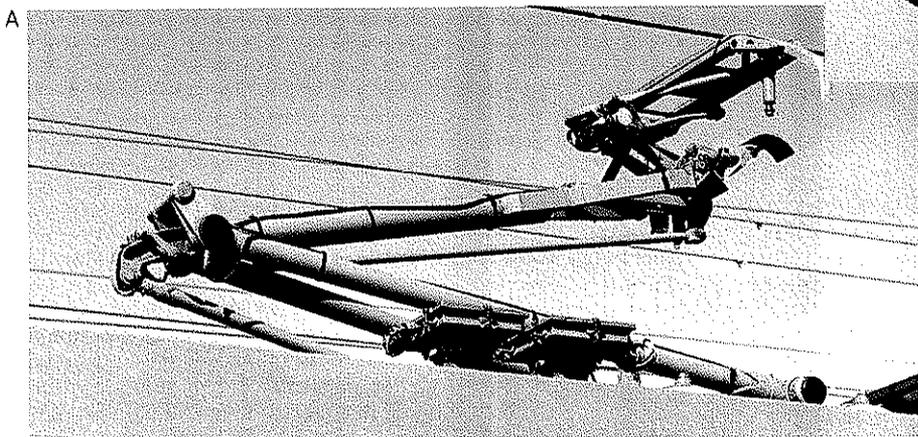
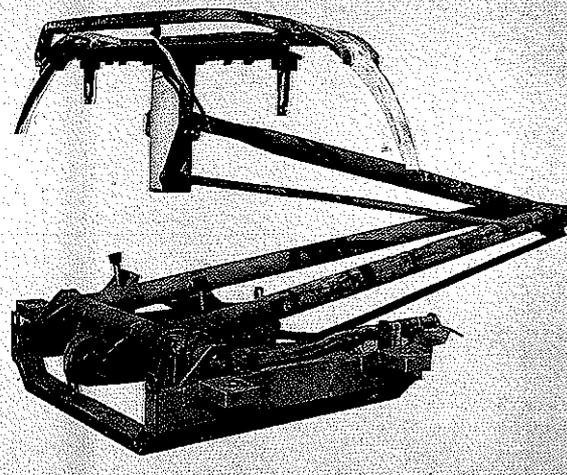


Figure 2. Pour accroître la puissance de traction d'un moteur, il faut commencer par capter davantage de courant. Ce captage est assuré par un pantographe, en contact permanent avec la ligne électrique suspendue (ou caténaire). Le pantographe du TGV Sud-Est (A) comporte deux bras articulés, lui permettant de s'adapter à la fois aux grandes variations de hauteur des caténaires et aux petits décollements dus à la vitesse. Le pantographe du TGV Atlantique (B) n'aura plus qu'un bras, le plus petit étant remplacé par un piston ; une configuration bien plus simple et légère. Pourrait-on concevoir à l'avenir, grâce à de nouveaux matériaux plus souples, un pantographe de troisième génération, dépourvu d'articulations ? (Clichés SNCF-CAV)

tée totalement que pour gravir des rampes à forte déclivité. D'où l'idée de fournir une propulsion d'appoint, par l'intermédiaire d'un moteur électrique « linéaire », sur les points de parcours critiques. Schématiquement, un tel moteur est constitué d'un bobinage fixé à la voie (alimenté par courant alternatif) et d'une plaque ferromagnétique fixée sous le train. L'ensemble équivaut à un moteur électrique

pantographe et caténaire, qui entraînerait leur usure rapide. Sur le TGV Sud-Est, le nouveau pantographe, conçu par la société Faiveley à la fin des années 1970, comporte deux étages (fig. 2A). Un grand « bras » articulé, formant l'étage inférieur, assure un bon contact aussi bien avec les caténaires de la ligne nouvelle — placées à hauteur constante — qu'avec celles des lignes classiques, dont la hau-

jours dans une vue prospective, on pense que l'utilisation des matériaux composites, notamment à base de fibres de carbone, dont la souplesse et les propriétés mécaniques sont excellentes, pourrait conduire à une simplification des articulations du pantographe.

Circuler à vitesse élevée exige, nous venons de le voir, de disposer d'une motorisation adaptée. Cette nécessité d'adap-

Les moyens techniques à la vitesse se trouvent également pour les organes de freinage. En pratique, les qualités du freinage conditionnent le nombre maximal de trains pouvant circuler simultanément sur une voie. A titre d'exemple, sur la ligne TGV Sud-Est, à 270 km/h, les rames TGV ont une distance d'arrêt normal d'environ 700 mètres. Cela leur permet de se suivre à 12 kilomètres, soit à environ 5 minutes d'intervalle, compte tenu des marges nécessaires tant à la sécurité qu'à la absorption des petits aléas de circulation.

#### et freiner encore mieux.

Sur les TGV, les freins à sabots, lourds et coûteux, ont été progressivement remplacés par des freins électriques (moteurs utilisés en freinage) et des freins à disques. L'augmentation de la vitesse de circulation pour le TGV Atlantique a conduit au développement de nouveaux disques capables d'une puissance et d'une énergie très supérieures (70 %) à celles du TGV Sud-Est. Cette amélioration des performances intrinsèques de freinage n'a pu être obtenue que par une meilleure maîtrise des conditions d'adhérence roue-rail. Les nouveaux équipements de frein sont à cet effet pilotés par des microprocesseurs qui, moyennant des « défreinsages limités » intermittents, empêchent à tout instant le blocage de chaque essieu et sollicitent au maximum l'adhérence roue-rail. Il est enfin à noter que, par conception, les disques rendent inutile tout dispositif auxiliaire de ventilation, ce qui réduit la résistance à l'avancement d'environ 10 %.

Des progrès paraissent encore possibles. Ils viseront essentiellement à alléger les disques et à les améliorer encore pour en réduire le nombre et la masse. En particulier, tout comme dans le domaine aéronautique, les recherches et les développements concerneront des freins à disque carbone-carbone. Ces freins devraient permettre une réduction atteignant 75 % des masses des équipements de freinage non suspendus (c'est-à-dire portés directement par les essieux).

Tout en poursuivant ces recherches, nous restons attentifs aux possibilités de concevoir des dispositifs de freinage ne sollicitant pas l'adhérence, et qui permettraient donc des performances encore accrues. Ainsi peut-on penser que des freins linéaires utilisant le rail pour générer des forces contre-électromotrices pourraient être une solution intéressante. Il s'agirait, par exemple, de freins à courants de Foucault ou de moteurs linéaires fonctionnant en freinage. Une des difficultés majeures de ces dispositifs est leur ancrage mécanique sur le bogie. En effet, il ne peut se faire simplement qu'au niveau des essieux, afin de réduire autant que possible « l'entrefer » entre la partie mobile et le rail. Il s'ensuit donc un allourdissement des masses non suspendues, qui est préjudiciable à la stabilité des bogies.

De façon plus prospective, on peut

réfléchir à l'intérêt que présenteraient des freins aérodynamiques. Outre la difficulté de conception de ces freins, éventuellement en forme de grille ou de peigne, comme sur les avions, leur nécessaire installation en toiture implique la révision de la conception mécanique de cette dernière. En effet, l'effort de freinage doit être mécaniquement bien transmis à l'ensemble de la structure sans contrainte excessive.

Quittons l'électrotechnique et abordons la mécanique, domaine dans lequel se déroulent des recherches moins spectaculaires, mais tout aussi importantes, pour la sécurité et le confort des passagers du TGV. Elles concernent les bogies et les caisses des véhicules, qui devront être aussi aérodynamiques que possible (fig. 3). Le système roue-rail et plus généralement le bogie constituent un ensemble mécanique extrêmement complexe. Les paramètres jouant sur la dynamique de l'essieu sont multiples : profil de la roue, inclinaison des rails, etc. Pour étudier leur influence respective, de nombreux modèles mathématiques ont été élaborés depuis la fin des années 1960 et ont été validés lors d'essais en ligne. Le premier objectif était d'accroître, en jouant sur les paramètres évoqués ci-dessus, les vitesses critiques à partir desquelles le bogie devient instable. Cette modélisation du contact roue-rail, puis du bogie complet, a été étendue à toute la rame, problème nettement plus complexe résolu grâce aux progrès de l'informatique.

Les divers outils de calcul avaient conduit à une conception du bogie du TGV Sud-Est avec suspension « secondaire » (entre le châssis du bogie et la caisse de voiture) par ressort hélicoïdal. Celle-ci présentait des avantages indéniables en matière de simplicité de conception et de robustesse, et conduisait à une bonne stabilité du bogie. Mais il est apparu à l'exploitation que le confort pouvait encore être amélioré. C'est pourquoi sur le TGV Atlantique, la suspension secondaire, de conception originale, est pneumatique (fig. 4). De plus, les liaisons amortissantes entre caisse de voiture et bogie, qui introduisaient une certaine raideur dans les rames du TGV Sud-Est, sont supprimées. C'est une liaison entre caisses qui assure l'amortissement de leur mouvement, autorisant ainsi un découplage optimal du mouvement du bogie intermédiaire. Enfin, une flexibilité transversale variable avec le déplacement de la caisse par rapport au bogie a permis un excellent découplage pour ce qui concerne les mouvements en lacet (rotation autour de la verticale). Globalement, cette nouvelle suspension fournira au passager à 300 km/h, comme l'ont montré les premières circulations, un confort excellent, équivalent à celui d'une rame Corail à 160 km/h.

Un autre objectif de recherche est l'allègement des organes de roulement : roues, essieux, châssis de bogie, etc. Deux axes émergent nettement. D'une part, la recherche de « nuances » d'acier, aux

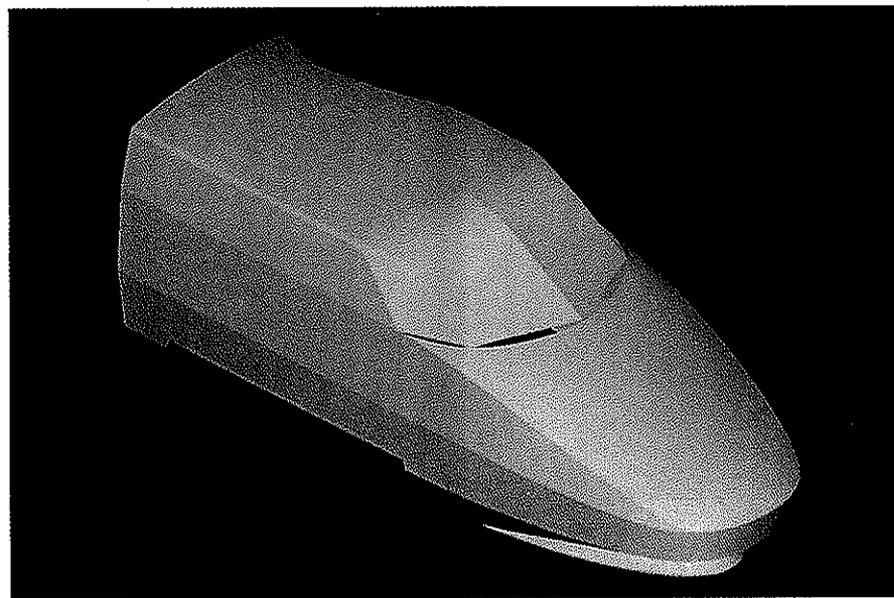


Figure 3. La conception assistée par ordinateur ou CAO sert à « simuler » le comportement dynamique des rames de TGV avant de les construire. Elle a ainsi permis d'alléger le squelette des rames du TGV Atlantique tout en leur conservant la solidité nécessaire. Grâce également à la CAO, il a été possible d'étudier en trois dimensions — comme on le voit ici — les phénomènes aérodynamiques engendrés autour des rames, et d'améliorer entre autres le profil de leur toiture. Mais il est apparu plus récemment que, compte tenu du fait que les TGV futurs circuleraient dans des tunnels, il était indispensable de comprendre les phénomènes liés à l'incompressibilité de l'air. Des modèles théoriques perfectionnés sont en cours d'élaboration dans les laboratoires de la SNCF. Parallèlement, les spécialistes consacrent une attention particulière aux phénomènes thermiques. Allées à des essais sur maquette en soufflerie, qui reconstituent les conditions réelles d'exploitation, ces approches théoriques devraient se traduire par une moindre résistance à l'avancement du TGV de troisième génération, d'où une consommation électrique réduite à puissance égale. (Cliché SNCF-CAV)

meilleures résistances mécanique, thermique et à l'usure. D'autre part, une optimisation poussée des formes de ces organes pour obtenir des gains de masse substantiels en répartissant au mieux les contraintes mécaniques. La CAO (conception assistée par ordinateur) sera de plus en plus utilisée, par exemple, pour concevoir des corps de roues de moindre épaisseur ou étudier des essieux creux.

Au-delà des améliorations de composants mécaniques élémentaires, des progrès plus fondamentaux méritent de longues études théoriques et expérimentales. Citons, par exemple, l'utilisation de matériaux composites naturellement souples, qui simplifierait la conception de structures « travaillantes », telles que les châssis de bogies ou l'arbre de transmission. Citons aussi le recours à des roues libres, permettant de supprimer l'essieu, et la

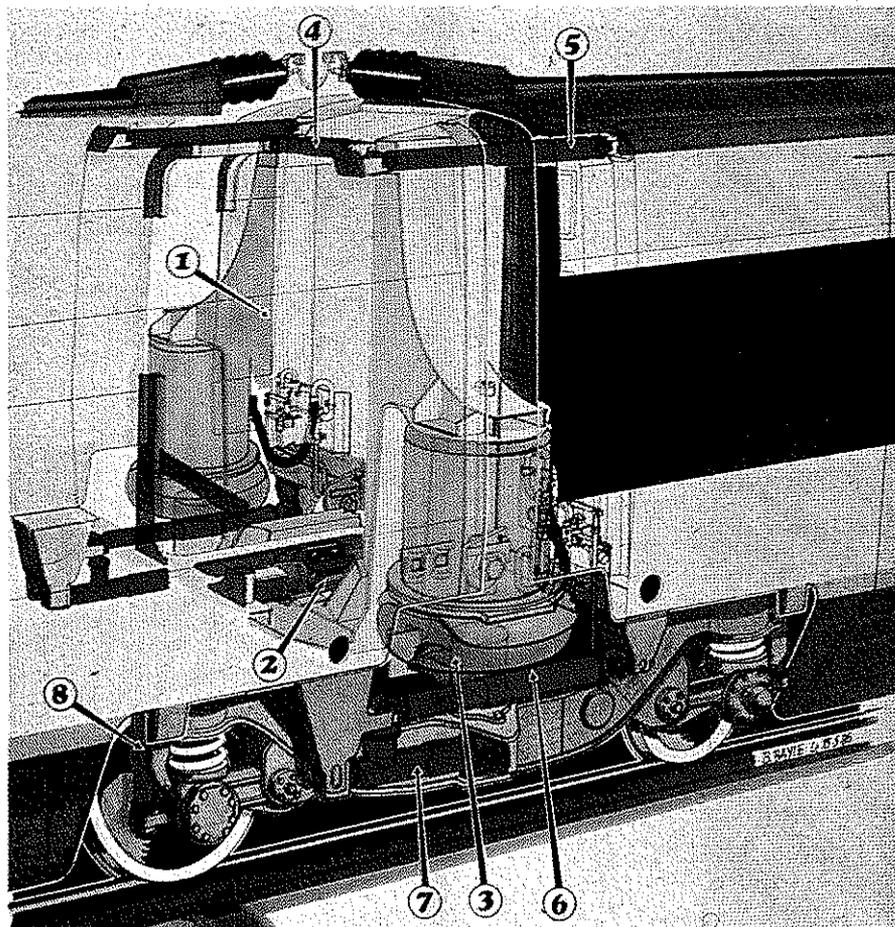
mise au point de « suspensions actives » pour réduire davantage les efforts entre le véhicule et la voie. Ces recherches restent à entamer, et doivent satisfaire aux exigences permanentes de sécurité, fiabilité et facilité de maintenance. Quant aux caisses des véhicules, domaine d'apparence moins noble et moins « technique », les améliorations sont loin d'être terminées. Les exigences de légèreté et les contraintes aérodynamiques étant de plus en plus fortes, il est nécessaire de progresser dans l'optimisation des structures, le modelage des formes et le recours à de nouveaux matériaux. Là aussi, la CAO a permis d'apporter des allègements substantiels à la structure des véhicules du TGV Atlantique (fig. 3). L'ossature a été rendue plus homogène tout en ménageant les volumes nécessaires aux équipements.

Dans le domaine des matériaux, les étu-

des et expérimentations des caisses en acier inoxydable et à haute limite élastique visent des gains de masse de l'ordre de 15 % pour les structures nues. Au-delà de ce gain, on doit s'interroger sur l'avenir des matériaux composites tant pour les structures des caisses que pour les équipements. Les perspectives ouvertes par ces nouveaux matériaux sont en effet séduisantes. Mais les problèmes de liaison avec des organes métalliques, les problèmes de vieillissement et de fatigue, d'entretien, de limitation de toxicité en cas d'incendie paraissent redoutables. Les premières expériences opérationnelles, fin 1987, porteront donc sur des éléments peu sensibles au sens de la sécurité, tels que coques de sièges, portes, éléments d'habillage, etc.

Nous ne pouvons clore cet article sans évoquer la contribution de l'informatique au TGV. Alors que les microprocesseurs n'occupaient qu'une place réduite dans les rames du TGV Sud-Est, on assiste, pour les rames du TGV Atlantique, à une véritable révolution dans la conception des circuits électriques du train. La micro-informatique permet de substantielles économies par l'automatisation très poussée des procédures d'exploitation. C'est ainsi qu'il sera possible, sur le TGV Atlantique, de réaliser automatiquement la plus grande partie des opérations de préparation de rame : contrôle de la signalisation — qui n'est plus placée au bord des voies, mais s'affiche directement dans la cabine du mécanicien —, mise à jour des informations destinées aux passagers, réglage de la climatisation, etc. On pourra également fournir au mécanicien des informations en temps réel concernant le fonctionnement des moteurs, des freins, etc. Jointes à une informatisation complète des procédures de diagnostic de pannes, ces informations faciliteront les dépannages éventuels. Par ailleurs, certains défauts de fonctionnement et les circonstances de leur apparition pourront être transmis par radio au centre de maintenance, permettant d'effectuer une opération d'échange standard d'élément à l'arrivée au terminus de la rame. Ces divers aspects conduisent, pour le TGV Atlantique, à une réduction du coût d'entretien des rames de l'ordre de 20 % ! Et cela conjointement à un accroissement très sensible des performances et du confort.

En fait, la micro-informatique permet la mise en place d'un véritable réseau de communication (fig. 5). Il s'agit, d'une part, d'un réseau interne entre les différents éléments de la rame, sous la forme d'une double ligne bifilaire (par souci de sécurité) remplaçant les centaines de liaisons fil à fil des trains traditionnels. Un ordinateur principal y joue le rôle de chef d'orchestre et gère la succession des messages des microprocesseurs secondaires. Ceux-ci, en grand nombre, échangent entre eux les données nécessaires à leurs applications respectives, données notamment recueillies grâce à des capteurs disposés le long de la rame (fig. 1). Ils gèrent



1. anneau porteur	4. amortisseur transversal	7. amortisseur anti-lacet
2. rotule	5 et 6. amortisseurs longitudinaux entre caisses	8. amortisseur vertical
3. membrane à grande flexibilité		

Figure 4. L'une des principales originalités du TGV réside dans le fait que ses « bogies », dispositifs articulés sous lesquels sont montées les roues, sont communs à deux voitures consécutives de la rame. Il est donc possible d'insérer une partie de la suspension dite secondaire, servant à amortir la liaison bogie-voitures (cylindres verts), entre les voitures. Cela permet d'abaisser le plancher de ces dernières afin de réduire la résistance à l'avancement de l'ensemble. Sur le TGV Sud-Est, la suspension secondaire est assurée par un ressort hélicoïdal. Sur le TGV Atlantique, elle devient pneumatique, grâce en particulier à des membranes à haute flexibilité (3). Par ailleurs, les mouvements parasites des voitures ne sont plus jugulés exclusivement par des amortisseurs reliant le bogie à la caisse des voitures (8), comme c'est le cas sur le TGV Sud-Est, mais aussi par des amortisseurs entre voitures (4, 5, 6). Enfin, la rame possède une stabilité accrue face aux mouvements en lacet (rotation autour de la verticale), grâce à un découplage optimal des oscillations des voitures par rapport à celles des bogies. Le TGV de troisième génération sera-t-il doté de suspensions « actives », capables de détecter les amorces de mouvements parasites et de les contrecarrer ? (Cliché SNCF-CAV)

es fonctions extrêmement variées telles que la commande des blocs moteurs et des dispositifs de freinage, contrôle de l'état de la rame, logique de dépannage à l'usage des mécaniciens, etc. Il s'agit d'un réseau externe, d'autre part, pour la transmission par radio de données (via des stations fixes, disposées sur la voie tous les 10 kilomètres environ) entre les rames et les centres d'exploitation (gares, postes de commandes, etc.) et de maintenance (ateliers, dépôts). Cette tendance générale à l'informatisation (encadré) et à l'utilisation de systèmes experts, par exemple pour le diagnostic de pannes (voir l'article de J.P. Perrin et J.P. Pascal dans ce supplément), se profile déjà dans le TGV Atlantique.

### Peut-il rouler encore plus vite ?

Revenons à présent aux questions que nous posions au début de cet article : l'avenir nous réserve-t-il un TGV roulant à 400 km/h ? Le TGV du futur sera-t-il très différent de ses prédécesseurs ? Paradoxalement, la réponse à la seconde question est « sûrement », alors qu'à la première nous ne répondrons que « peut-être ».

En effet, les conséquences de l'accroissement de la vitesse doivent être examinées avec circonspection et réalisme. Une première constatation s'impose alors : l'accroissement de la vitesse ne peut se faire qu'au prix d'une consommation énergétique accrue. Fort heureusement, l'optimisation des propriétés aérodynamiques des rames et du rendement des moteurs permettra de minimiser ce phénomène. En revanche, on ne peut pas ignorer le fait que, lorsque la vitesse du train s'accroît, les phases d'accélération

## ASTREE : LE MARIAGE DU CHEMIN DE FER AVEC LES TECHNIQUES DU XXI<sup>e</sup> SIÈCLE

ASTREE est le futur système de « contrôle-commande » des circulations ferroviaires.

La recette pour l'obtenir est simple. Équipez chaque train de moyens de localisation et de transmission ; répartissez sur le territoire des ordinateurs reliés entre eux, capables de demander aux trains leur position et leur vitesse et de déterminer la position des aiguillages. Vous avez constitué une base de données qui fournit une représentation complète, précise et récente du réseau et des trains qui y circulent.

Développez ensuite des programmes informatiques qui utilisent ces données pour gérer la circulation ferroviaire ; répercutent leurs résultats vers les trains, les aiguillages, les passages à niveaux... sous la forme de commandes, d'autorisations, de consignes ou de conseils ; vous avez réalisé ASTREE.

Les moyens nécessaires à la localisation et à la transmission, comme les moyens de saisie, de traitement, de dialogue ou de commande s'appuient sur l'électronique, les télécommunications et l'informatique — les techniques qui feront la force du XXI<sup>e</sup> siècle.

L'essentiel de ces moyens est embarqué ou se trouve dans les centres de contrôle, plutôt que réparti le long de la voie. En quelque sorte, ce n'est plus le sol qui voit passer les trains, mais le train qui se repère par rapport au sol. Les implications de ce changement d'optique sont considérables.

En effet, la connaissance de la position des trains n'étant plus liée à des repères fixes, la souplesse de l'exploitation est considérablement renforcée. ASTREE permet de profiter au mieux des possibilités de la voie et des véhicules : accroissement du débit des lignes ou de la vitesse des trains (sans pour autant exiger des freins aux performances coûteuses), facilité d'organiser des circulations à contre-sens, etc.

En outre, ASTREE apporte un renforcement de la sécurité, et ce pour deux raisons. D'une part, il remplace la classique signalisation placée sur le bord de la voie par une signalisation de cabine visible et lisible, permanente et perti-

nente. Cette signalisation peut être enrichie d'une série d'aides à la conduite dont le contenu, la présentation et l'ergonomie feront l'objet d'expérimentations et de discussions avec les utilisateurs. D'autre part, ASTREE compare à tout instant la vitesse du train aux limites imposées par la sécurité et déclenche un freinage d'urgence si ces limites sont outrepassées. Pour être efficace sans ralentir inutilement le trafic, ce contrôle de vitesse doit tenir compte de très nombreux paramètres qu'ASTREE connaît en permanence. C'est là un extraordinaire outil de sécurité, un véritable filet de protection étendu au-dessus des circulations. Notons que la signalisation de cabine et le contrôle de vitesse ne sont pas réservés aux seules lignes les plus importantes : toutes les locomotives étant équipées, tous les trains bénéficient de la même sécurité, en tous points du réseau.

Enfin, ASTREE apporte plus de souplesse, de qualité de service et d'économie. Une information fraîche, précise et vaste permet une meilleure régularité du trafic, de sensibles économies d'énergie ainsi qu'une exploitation et une gestion améliorées. La mise en place de ce système nécessitera bien sûr des investissements importants, mais permettra d'en éluder d'autres, également importants. Elle entraînera une réduction des coûts d'exploitation, notamment d'entretien de la signalisation classique, progressivement appelée à disparaître, et plus généralement d'importants gains de productivité.

ASTREE est en cours de développement. Des tests se poursuivront jusqu'en 1990. À l'issue de ces tests, la direction de l'entreprise décidera du déploiement généralisé. Celui-ci devrait s'achever à l'horizon 1995. ASTREE devrait alors constituer un atout essentiel pour assurer au chemin de fer une place importante dans le transport de demain.

Patrice Bernard, Adjoint Recherche au Directeur des Etudes, de la Planification et de la Recherche — SNCF

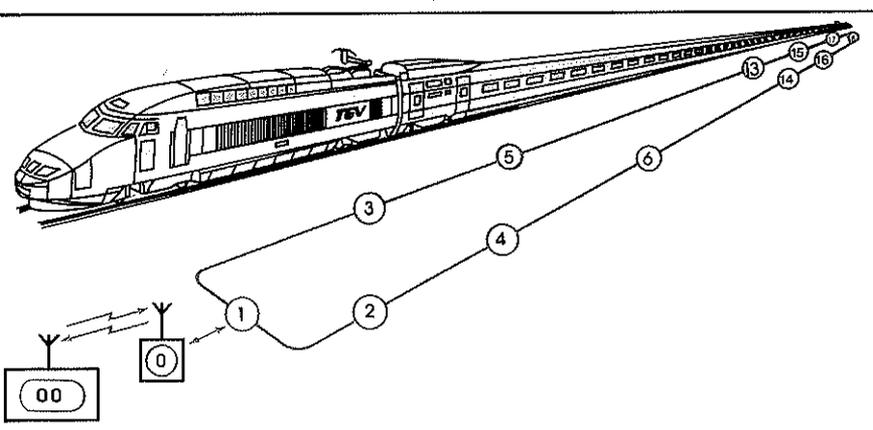
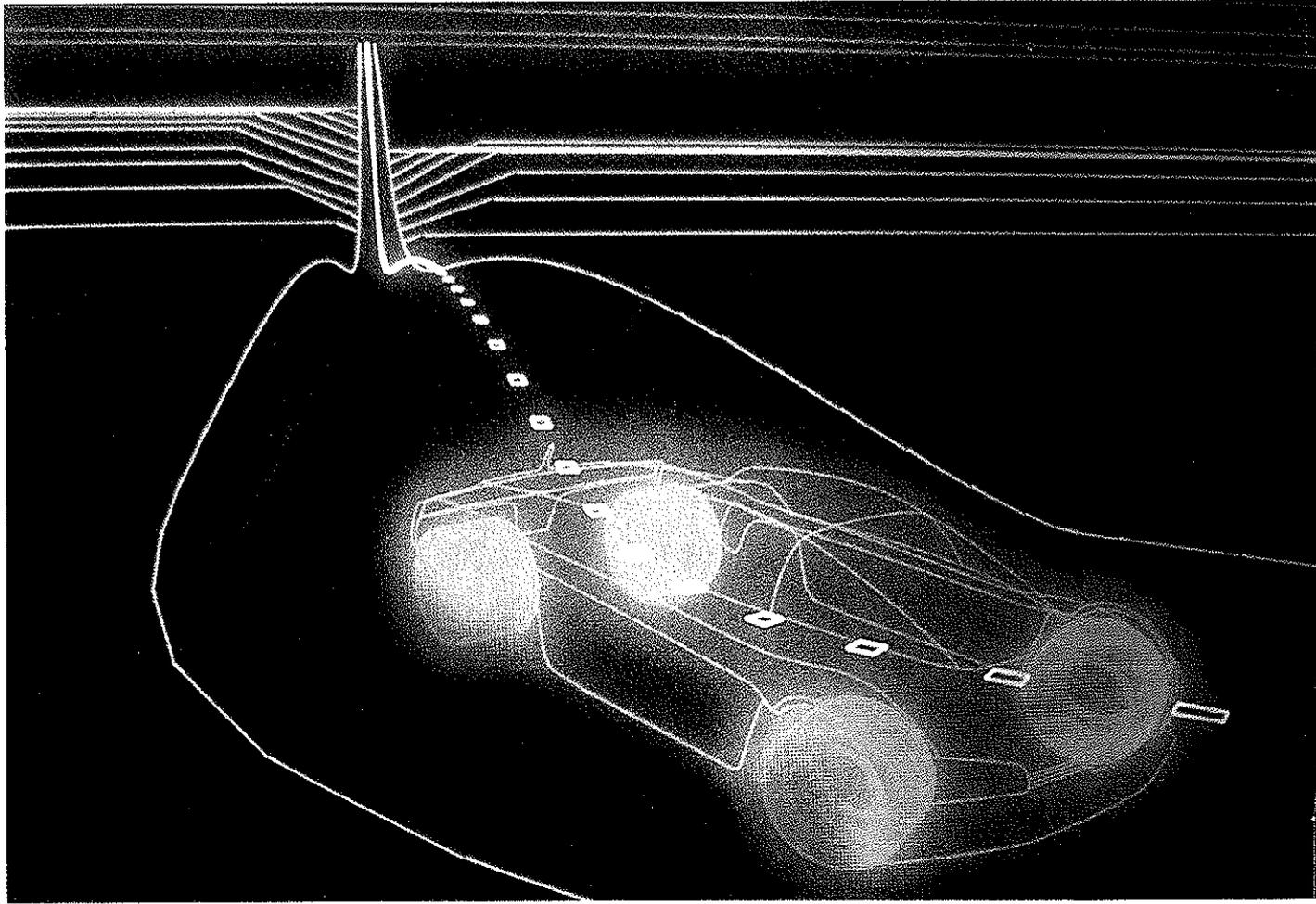


Figure 5. Alors que les ordinateurs sont peu présents dans le TGV Sud-Est, on assiste à une véritable révolution sur le TGV Atlantique, où la micro-informatique permet de réaliser de substantielles économies d'exploitation grâce à l'automatisation de certaines procédures (voir texte). On assiste en fait à la création d'un véritable réseau de communications, d'une part à l'intérieur des rames et, d'autre part, entre celles-ci et le sol. On voit sur le schéma l'organisation de ce réseau. Le TGV Atlantique disposera ainsi de quatre ordinateurs principaux de cabine (1, 2 et 17, 18 : n'oubliez pas que les rames de TGV sont symétriques), de plusieurs ordinateurs de commande des bogies moteurs (3, 4 et 15, 16) et de la commande des remorques (5 à 14). Ceux-ci échangeront des données recueillies par des capteurs spécialisés répartis le long du train, et communiqueront par radio avec les gares ou les centres de maintenance (00) grâce à leur émetteur-récepteur embarqué (0), lui-même relié à l'ordinateur principal. Le TGV de troisième génération fera-t-il appel à des systèmes experts, programmes d'ordinateur qui mimient le raisonnement d'un spécialiste, pour déterminer en quelques instants l'origine de ses propres pannes afin d'en accélérer la réparation ?

et de ralentissement deviennent plus longues, ce qui limite les gains de temps escomptés. C'est pourquoi nous avons toujours considéré que les vitesses de l'ordre de 300 km/h étaient optimales, compte tenu des distances qui séparent les villes importantes à l'échelle européenne.

La seconde constatation est que la « course » à la vitesse entreprise par des pays tels que le Japon et la République fédérale d'Allemagne, avec la sustentation « magnétique », est une réalité incontournable. Qu'à cela ne tienne : les TGV sont déjà capables d'effectuer des pointes de vitesse à 360 ou 380 km/h.

En résumé, nous pensons que les recherches entreprises depuis le début des années 1980 dans les différents laboratoires de la SNCF et des industriels sont indispensables, parce qu'elles apporteront des améliorations substantielles au confort et à la sécurité des passagers, tout en diminuant les coûts de production et d'exploitation. Et elles permettront également d'ici une décennie, si le besoin s'en fait sentir (en particulier dans des pays très vastes comme les États-Unis), d'atteindre les 400 km/h en régime de croisière. ■

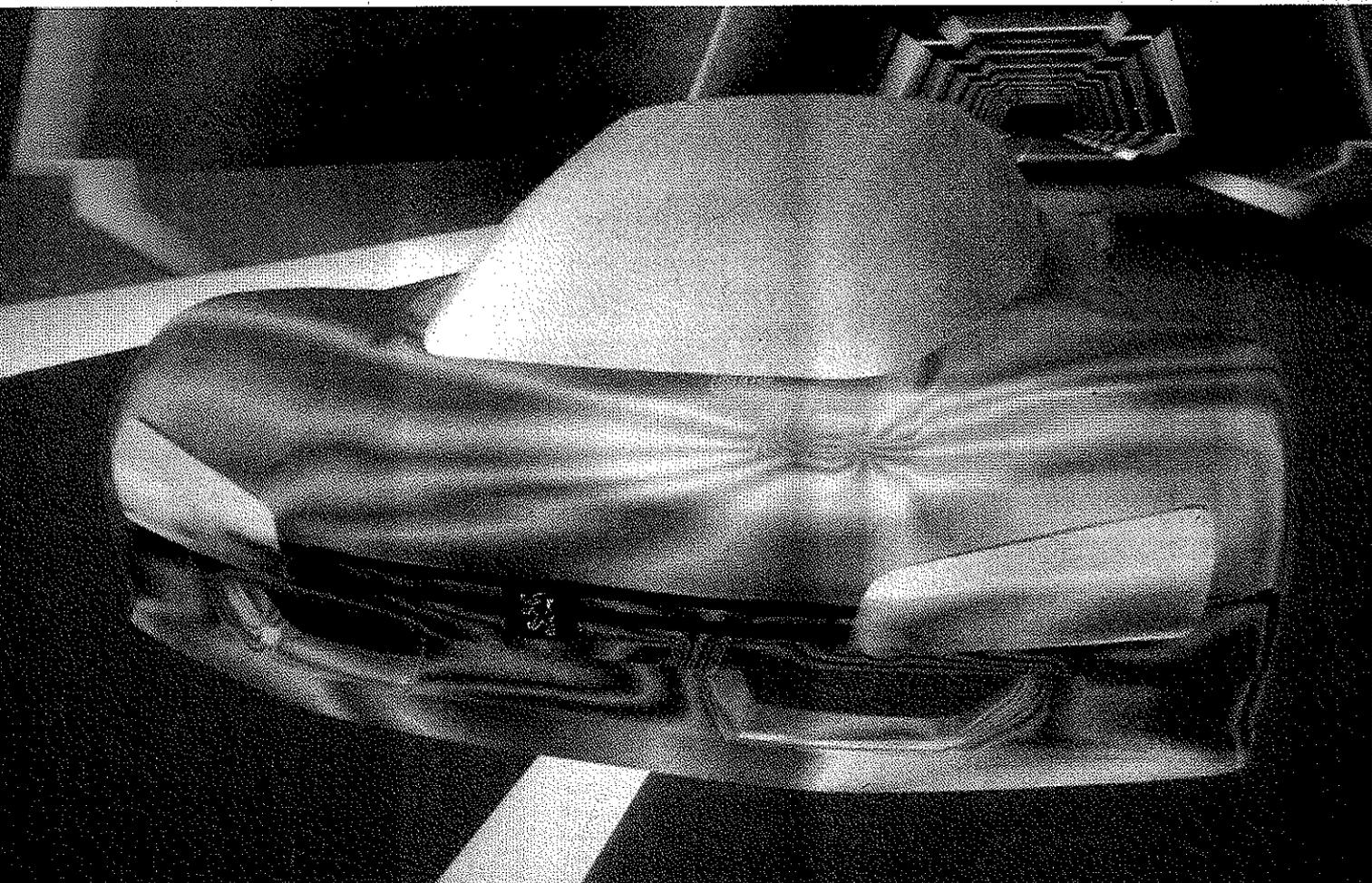


# La voiture intelligente

par Charles Parey et André Lauer

**Un ordinateur de bord reçoit et traite des informations concernant l'état du véhicule, informe le conducteur sur la route et le trafic, déclenche des automatismes de sécurité, voire pilote à sa place... ainsi sera la voiture du futur. Science-fiction ? Pas du tout. L'automobiliste, demain, sera au volant d'une voiture intelligente. Munie d'instruments de bord conviviaux du type écran tactile ou appareils de synthèse vocale, elle proposera même sur son tableau de bord la cartographie de toutes les grandes villes d'Europe. Et comme on est rarement seul sur la route, celle-ci sera elle-même intelligente, équipée de moyens informatiques sophistiqués destinés à combattre les embouteillages. Ainsi, l'automobile de demain sera-t-elle le fruit des derniers progrès de la micro-informatique, de l'intelligence artificielle et des transmissions de données. Pour savoir où elle nous conduit, prenons place à son bord avec Charles Parey et André Lauer.**

*Figure 1. A quoi ressemblera la voiture de demain ? « Proxima », le véhicule futuriste que vient de concevoir le groupe PSA, nous suggère la réponse. Comme on le voit sur ces images de synthèse réalisées par la Sogitec, et illustrant cette automobile du futur, elle sera peu différente dans son apparence de celle que nous utilisons aujourd'hui. En revanche, elle sera « intelligente » et fera appel aux derniers développements de la micro-informatique et des transmissions de données. Un ordinateur de bord recueillera et traitera de nombreuses données concernant l'état du véhicule, issues de capteurs disposés dans tous ses organes. Il pourra ainsi prendre en charge la gestion de son fonctionnement, mémoriser les pannes et défauts intervenus lors d'un trajet. Mais il offrira également une aide à la conduite, analysant des informations provenant de l'environnement de la voiture, et prenant des décisions à la place du conducteur... Les premiers pas vers une conduite entièrement automatique, qui ne devrait cependant voir le jour qu'à très long terme. (Clichés Sogitec)*



**S**ouvenons-nous des premières images du film de Fellini, *Huit et demi*. Guido, le personnage central est enfermé dans sa voiture elle-même bloquée dans un embouteillage. Après quelques minutes d'angoisse, Guido finit par s'envoler pour échapper à ce cauchemar des temps modernes. Cette métaphore poétique montre à quel point l'automobiliste, une fois la portière de sa voiture fermée, est isolé du milieu extérieur. Sa voiture entre dans le flux des autres véhicules, tout aussi isolés, véritable plongée dans un milieu que certains n'hésitent pas à qualifier d'hostile.

Comme pour répondre à cette appréhension, « Proxima », véhicule futuriste conçu par le groupe PSA (fig. 1) et illustré dans un court métrage du même nom réalisé avec des images de synthèse par la société française Sogitec, nous donne un aperçu de ce que sera la voiture de demain. Elle aura toujours quatre roues et un volant. Mais équipée d'un ordinateur à bord, elle pourra recevoir et traiter des informations concernant le bon fonctionnement de ses organes et ses relations avec l'environnement, ainsi que déclencher des automatismes de sécurité. Pour améliorer encore cette aide à la conduite, qui pourrait devenir entièrement automatique à long terme, la voiture du futur sera munie d'instruments de bords conviviaux, infor-

mant l'automobiliste sur l'état de la route, le conseillant sur son itinéraire ou le prévenant d'un éventuel danger. Bref, la voiture de demain sera « intelligente ».

Élément évidemment indispensable, la route, aussi, sera intelligente. Des systèmes de recueil, de traitement et de gestion des informations concernant le trafic, la météo ou encore la disponibilité des routes en fonction des opérations d'entretien des voies pourront, du sol, dialoguer avec l'automobile. Véhicule « informé », la voiture de demain sera de plus intégrée dans des dispositifs de régulation du trafic, destinés à rendre la circulation plus fluide et notamment à éviter les embouteillages dans les villes. Ainsi, malgré une apparence peu changée, la voiture « intelligente » sera-t-elle très différente de celle que nous connaissons aujourd'hui ; elle sera le fruit d'un saut technologique majeur, le plus important qu'ait connu à ce jour l'industrie automobile, intégrant les plus récents développements de l'informatique et des systèmes de transmission de données. Une voiture qui n'est cependant pas si lointaine, puisque les tout premiers équipements « intelligents » pourraient apparaître dès 1990...

De tels bouleversements techniques sont dictés d'une part par des considérations d'ordre économique. Les pays producteurs, européens notamment, doivent

en effet faire preuve d'innovation face à la concurrence des nouveaux pays industrialisés. Et l'enjeu est considérable. Si la tendance se confirme, et pour ne citer que l'hexagone, il y aura en l'an 2000 trente millions d'automobiles, contre vingt-cinq millions aujourd'hui dont vingt-deux millions sont des voitures particulières. En matière de transport de marchandises, la route a supporté, en 1984, 88,4 milliards de tonnes/km avec une moyenne de parcours de 70 kilomètres par véhicule (voir l'article de J. Colin dans ce supplément). Les conditions d'utilisation des véhicules quant à elles doivent aussi être prises en compte. Pour un réseau routier français de 800 000 kilomètres — toutes natures de voies confondues —, le parcours moyen annuel d'une voiture particulière est aujourd'hui supérieur à 12 500 kilomètres — la croissance du trafic automobile a été d'environ 10 % en 1986 —, et les automobilistes passent 44 millions d'heures par an dans les bouchons !

L'autre aspect majeur des problèmes de la circulation routière qui pousse à l'innovation est bien sûr celui du lourd tribut représenté par les conséquences des accidents. Certes, des résultats encourageants ont été obtenus depuis 1978, année où la France détenait le triste record de 16 617 tués. Il n'en reste pas moins que, en 1986, il y a eu près de 185 000 accidents avec

**Charles Parey**, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, est chef de service des études de la recherche et de la technologie (SERT) du ministère des Transports depuis 1982. **André Lauer**, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, est chef du département transports, urbanisme et construction au ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur depuis 1985.

10 960 tués et 259 000 blessés, dont 65 500 gravement atteints. Bien entendu le comportement du conducteur et notamment l'alcoolémie et la vitesse restent les facteurs principaux de l'insécurité routière. Mais les améliorations réalisées tant sur les véhicules que sur le réseau routier contribuent à la régression du fléau.

Ainsi, des programmes internationaux de recherche industrielle sans équivalent dans les autres secteurs des transports viennent d'être lancés au niveau européen. Il s'agit des programmes de recherche *Eurêka*, qui ont fait apparaître les projets de synthèse les plus ambitieux au niveau mondial — bien que Japonais et Américains, séparément, fournissent d'importants efforts dans le même sens — et associent pour la première fois dans ce domaine des industriels de plusieurs nationalités (voir encadré p. 52). Ce sont les projets *Prometheus*, *Carminat* et *Europolis* dont la première phase de définition a été approuvée à Londres en juin 1986 ; par la suite le projet *Demeter* a été approuvé à Stockholm en décembre 1986.

*Prometheus* concerne principalement l'aide à la conduite, avec la mise au point

d'un ordinateur de bord appelé « copilote intelligent » destiné à aider le pilote, voire à le remplacer dans certains cas ; ce programme intègre toutes les possibilités de communication entre véhicules et avec l'environnement. *Carminat* traite des problèmes de cartographie embarquée, de navigation, de diagnostic de l'état du véhicule et de réception des informations provenant de l'extérieur. *Demeter*, de son côté, a pour objectif d'aboutir à des standards européens de cartographie mise en mémoire. *Europolis*, enfin, considère le véhicule inséré dans un flot et concerne la gestion de la circulation et notamment des embouteillages.

Bien que ne concernant pas directement la voiture intelligente, d'autres programmes de recherche importants ont pour but d'améliorer l'automobile. Nous ne les développerons pas ici, mais il faut citer, dans le cadre d'*Eurêka*, le programme *Carmat 2000* dont l'objet est d'alléger le véhicule, par l'utilisation de nouveaux matériaux. Par ailleurs, l'industrie française se mobilise pour améliorer le moteur, afin de respecter la future réglementation de la Communauté écono-

mique européenne en matière de pollution : ainsi le programme *Moteur épuration*, mené par PSA et la Régie Renault et aidé par le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, concerne notamment le contrôle de la combustion et le traitement des gaz d'échappement. Notons également que le programme français de recherche « véhicule à fonctions enrichies » concerne plus particulièrement le confort et la sécurité par le biais de l'amélioration des suspensions et de la stabilité.

### Un copilote intelligent.

Pour être intelligente, la voiture fera tout d'abord massivement appel à l'informatique. Les microprocesseurs, qui régneront demain, sont déjà bien présents dans l'automobile. Sous le capot, on les trouve dans les dispositifs d'allumage, ou de freinage anti-bloquant tels ceux existant notamment sur Renault 25, Peugeot 505 GTI et sur les poids lourds (voir l'article de J. Colin dans ce supplément) ; la traction intégrale, où la motricité est répartie sur les quatre roues, permet grâce à eux de

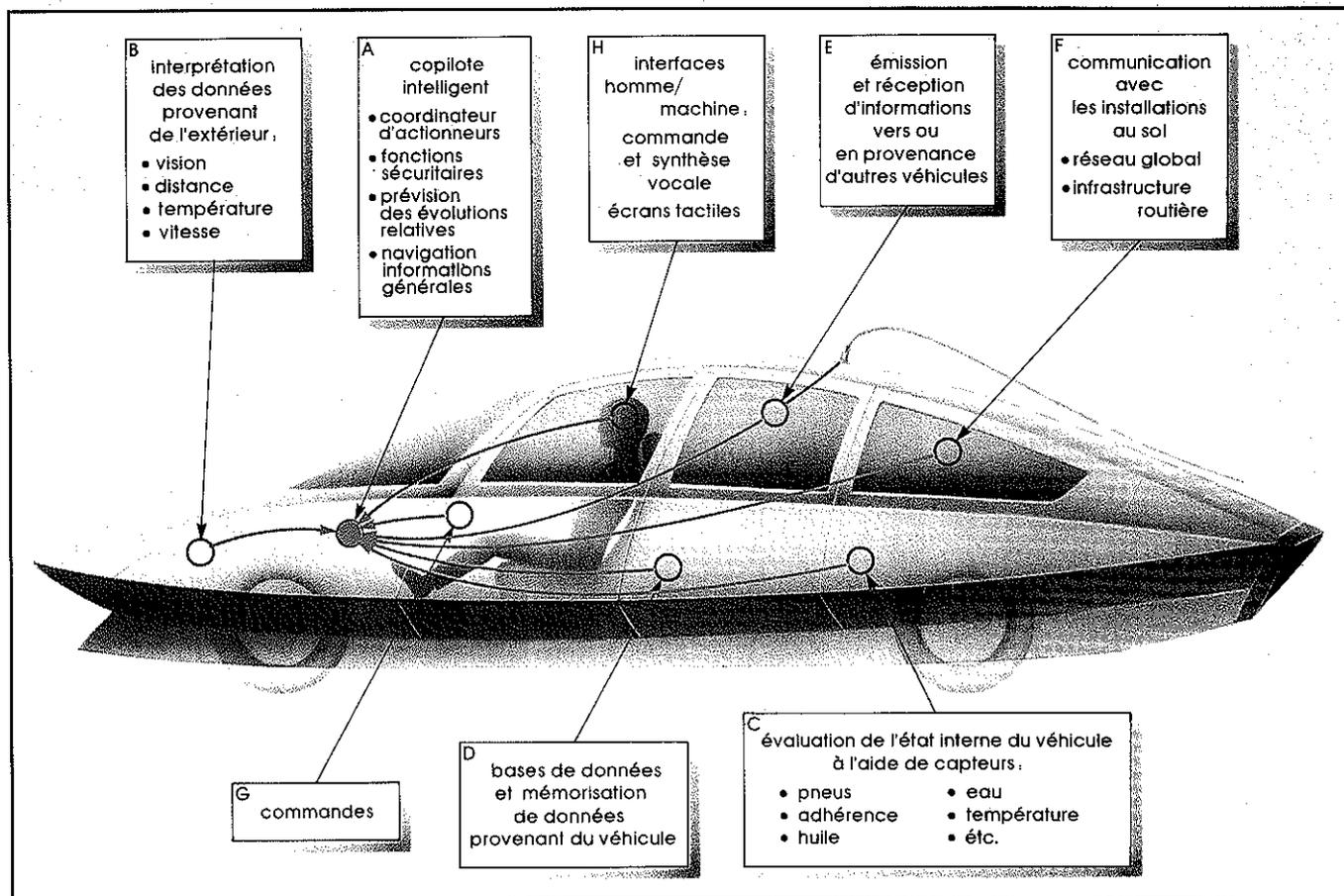


Figure 2. Ce schéma de principe montre les diverses fonctions que pourra remplir, à bord de l'automobile de demain, le « copilote intelligent ». Cet ordinateur de bord (A), dont les premières applications devraient apparaître sur le marché en 1992, centralisera les informations provenant de l'extérieur, telles qu'évaluation des distances par rapport à un obstacle ou nature de cet obstacle, des données qui seront recueillies par des capteurs spécifiques (B). Il interprétera également celles concernant l'état du véhicule, comme température de l'eau, pression ou adhérence des pneus (C). Il prendra en compte des informations contenues dans des bases de données mémorisées pendant le trajet et concernant les incidents ou pannes de certains organes du véhicule, ou mémorisées de façon standard, telle la cartographie d'une ville (D). L'ordinateur recevra aussi des informations provenant des copilotes d'autres véhicules, sur la vitesse, par exemple, de ces véhicules s'ils se trouvent à proximité directe (E). Enfin, il pourra communiquer avec des installations au sol, pour connaître l'infrastructure routière ou l'état du trafic (F). Le copilote pourra alors aider le conducteur, en lui fournissant des prévisions sur le fonctionnement de la voiture, ou des conseils de navigation. Il ira même jusqu'à le remplacer dans certains cas, en actionnant des mécanismes de sécurité. Pour ce faire, il interprétera bien sûr les actions du conducteur (G), qui disposera d'interfaces ergonomiques : synthèse vocale, écran tactile, etc. (H). (D'après SERT)

prendre les virages avec une plus grande sécurité ; par leur présence dans la boîte de vitesses, notamment pour les poids lourds, le choix des rapports et leur synchronisation sont asservis au régime du moteur. De façon plus visible pour le conducteur, l'informatique ainsi que l'électronique se manifestent également sur le tableau de bord, avec les éléments de contrôle et de surveillance. Il s'agit des divers cadrans numériques indiquant l'état du véhicule — pression d'huile, température de l'eau, etc. —, et des systèmes d'avertissement des anomalies par synthèse vocale présents sur certains modèles haut de gamme.

Le projet Prometheus va plus loin : il prévoit l'assistance dans la maintenance et la conduite, par un ordinateur qui centralisera toutes les informations (fig. 2). Il permettra ainsi une meilleure gestion du fonctionnement, puisque ce « copilote intelligent » collectera et analysera toutes les données « endogènes » provenant des capteurs en place sur les différents organes, tels que jauges, sondes de température ou de pression, contacts électriques, etc., permettant de gérer le fonctionnement du véhicule en le gardant dans son domaine de sécurité. Il enregistrera également dans une banque de données interne au véhicule tous les incidents de fonctionnement au cours d'un trajet. Cette banque de données pourra ensuite être exploitée pour la maintenance.

Mieux encore, il devra, en une seconde étape, être capable de prendre des décisions de conduite afin d'aider le pilote en situation courante et éventuellement de le compléter, notamment en situation d'urgence, c'est-à-dire commander le freinage quand surgit un obstacle. Il traitera alors les données « exogènes », relatives à la réception de stimuli extérieurs tels qu'état de la chaussée, présence de brouillard ou d'obstacle à l'aide d'un détecteur infrarouge ou d'un radar, et même présence d'un autre véhicule dans l'angle mort du miroir grâce à des systèmes Doppler à ultrasons. Le conducteur pourra même être averti d'une baisse de sa vigilance par une mesure continue des petits mouvements du volant...

Le copilote est aussi prévu pour faire tourner des logiciels d'intelligence artificielle, qui seront en fait des systèmes experts embarqués. Rappelons qu'un système expert est un outil informatique qui simule le raisonnement d'un expert dans un domaine particulier.

Ici, certaines données sont précises, telles la température du moteur, une porte ouverte ou fermée, un obstacle ou pas d'obstacle. Il existe cependant de nombreuses données dites « floues », du type maussée mouillée ou glissante, et difficiles à traiter par l'informatique algorithmique. L'intelligence artificielle pourra interpréter de telles données et aider le conducteur dans certaines décisions face à un danger. Une équipe de chercheurs de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA) travaille

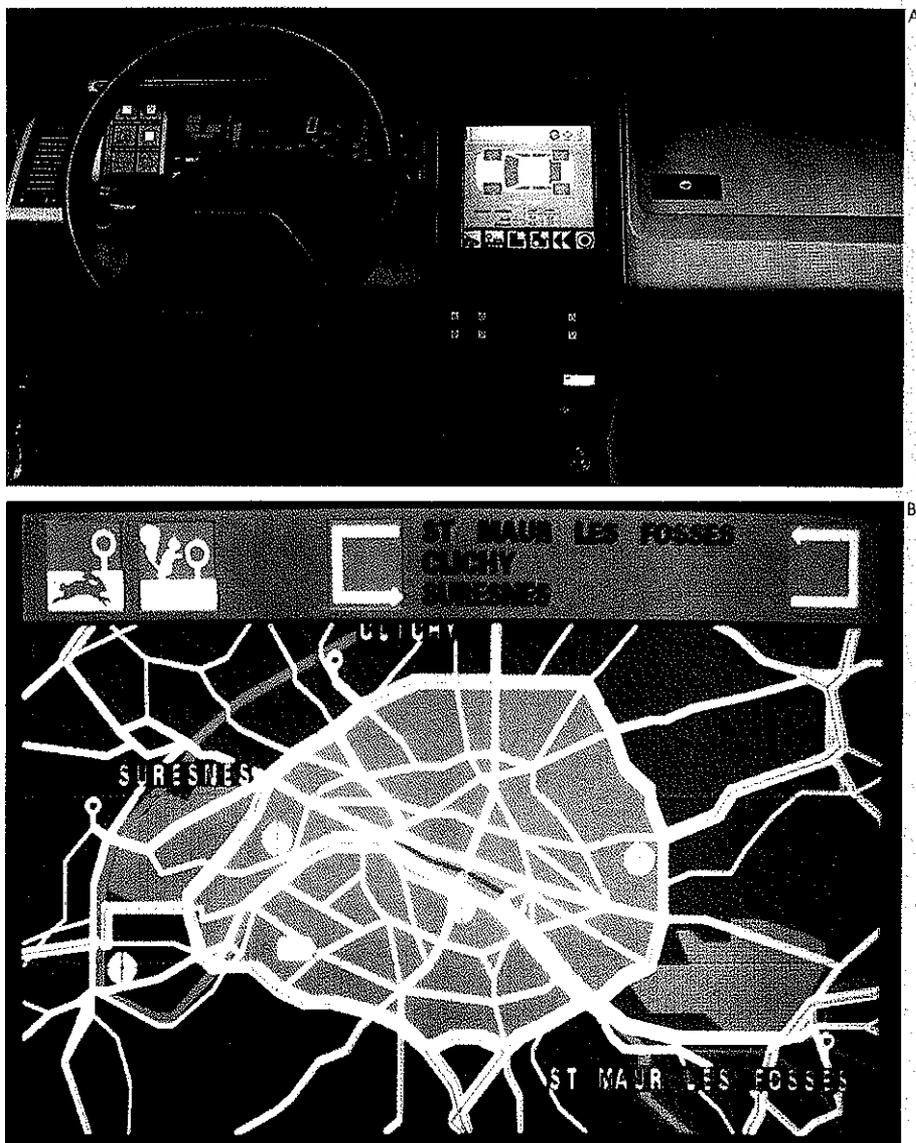


Figure 3. Le prototype Atlas, développé par Renault et Télédiffusion de France et qui devrait être opérationnel en 1990, a pour objectif la mise au point de base de données cartographiques stockées sur des mémoires de masse à accès rapides, comme les disques compacts, comprenant un lecteur couplé à un système de visualisation placé sur le tableau de bord (A). Il sera possible, comme le montre cette vue d'une maquette d'Atlas à bord d'une automobile Renault, de visualiser la cartographie d'une ville ou d'une région à l'échelle désirée et d'orienter cette carte. Le système sera capable de localiser le véhicule et de fournir, à l'aide d'un logiciel approprié, un itinéraire optimisé pour aller à l'endroit choisi sur la carte. Ici (B), il propose un itinéraire à l'automobiliste qui doit joindre Saint-Maur-les-Fossés à Suresnes en passant par Clichy, et en traversant Paris. Le trajet proposé apparaît en blanc sur la carte. (Clichés Renault)

dès aujourd'hui sur de tels systèmes experts.

Enfin, un véritable dialogue pourra s'établir entre les « copilotes » de deux ou plusieurs voitures très proches, de façon à prévenir toute collision. Une première voiture pourra par exemple avertir celle qui la suit de son freinage, à l'aide d'un émetteur et de moyens de transmissions de courte portée de type hyperfréquence, que nous développerons plus loin. La voiture suivante recevra le message à l'aide de capteurs spécifiques, et le copilote pourra alors interpréter l'information en fonction de la vitesse de son propre véhicule, pour déclencher éventuellement le freinage. L'application ultime de ce système, dont une maquette devrait voir le

jour en 1996, pourrait être une conduite en file totalement automatisée. De quoi faire frémir les « Fangio » en puissance !

#### Une carte routière sur disque compact.

L'invasion de l'informatique ne va pas se cantonner à ce seul domaine... L'automobile, au-delà de la stricte mécanique, c'est aussi le projet du voyage. Pour accomplir un déplacement, le conducteur doit avoir repéré et établi un itinéraire, et savoir s'y positionner à n'importe quel moment. La traditionnelle carte routière, la signalisation par panneaux de direction et de localisation et les renseignements demandés aux éventuels riverains sont

encore aujourd'hui les seules sources d'informations dont il dispose. Le programme Carminat va bouleverser cet état de fait. Regroupant notamment les projets Carin, mené par Philips, et Atlas (fig. 3), par Renault et Télédiffusion de France, qui sont en cours de développement, Carminat a pour objet d'assister le conducteur dans sa localisation et de lui conseiller un itinéraire. Ils devraient être opérationnels dès 1990.

Il s'agit d'une part de la mise au point de bases de données concernant toutes les caractéristiques cartographiques d'un territoire, stockées sur des mémoires de masse à accès rapide. Avec le CD Rom (*Compact Disc Read only Memory*), un dérivé du disque compact, mis en œuvre sur un prototype de Carin dans une Ford Transit, la capacité de 500 Méga-octets utiles est suffisante pour que la cartographie routière de l'Europe et de ses principales villes soit contenue sur une seule face. Ainsi à l'aide d'un micro-ordinateur embarqué, qui sera vraisemblablement le copilote dont nous avons parlé plus haut, et d'un lecteur de disque compact, il devient possible d'appeler la région ou la ville concernée et de la faire apparaître à l'écran. Un processeur graphique permet de choisir l'échelle de représentation dési-

rée et d'orienter la carte dans la direction adéquate. Ces bases de données cartographiques pourront être complétées par des informations concernant l'hôtellerie ou les concessionnaires automobiles, voire même un manuel d'assistance technique du véhicule.

D'autres supports de base de données embarquées peuvent être envisagés. Il s'agit par exemple des cartes Drexler, mémoires optiques de format carte bancaire, sortes de « disques compacts rectangulaires » dont la lecture par laser se fait en translation et non en rotation. Leur capacité de 4 Mo, plus faible que celle du CD Rom, représente tout de même l'équivalent de 1 600 pages de format A4.

Une des grandes difficultés qui se posent est celle liée à la normalisation des cartes pour les différents pays. Cela a conduit Philips et Blaupunkt à s'engager dans le projet Demeter qui permettra d'aboutir d'ici trois ans à un système unique de cartographie sur CD Rom. Dans le même esprit, le Comité européen des responsables de cartographie officielle (CERCO), organisme qui réunit les instituts tels que l'Institut géographique national en France (IGN) s'est saisi de cette question pour participer à un effort de standardisation européen.

A partir de telles cartographies, comment se localiser par rapport à l'itinéraire représenté ? Le conducteur disposera d'un système de visualisation, pouvant être couplé au copilote intelligent, qui fera apparaître automatiquement sa position sur le fond de carte de l'écran. Plusieurs solutions paraissent possibles pour déterminer la position du véhicule par rapport à un repère initial. Une approximation de la distance parcourue peut être connue par comptage des tours de roues, par exemple à partir des capteurs de freinage. Quant aux variations d'orientations, elles peuvent être appréciées à l'aide d'une boussole électronique, ou d'un magnétomètre, en mesurant les rotations successives du volant ou bien les différences de parcours des deux files de roues. D'autres perspectives sont envisagées comme la localisation à l'aide des satellites Navstar déjà existants et Locstar qui seront opérationnels dans deux ans. Accrues en précision, elles posent de gros problèmes en zones « masquées » comme les forêts et les villes et ne peuvent donc s'appliquer sur un réseau dense comme celui de l'Europe occidentale.

Pour en finir avec la navigation, il faut savoir qu'il existe déjà de nombreux algorithmes d'optimisation d'itinéraires (voir

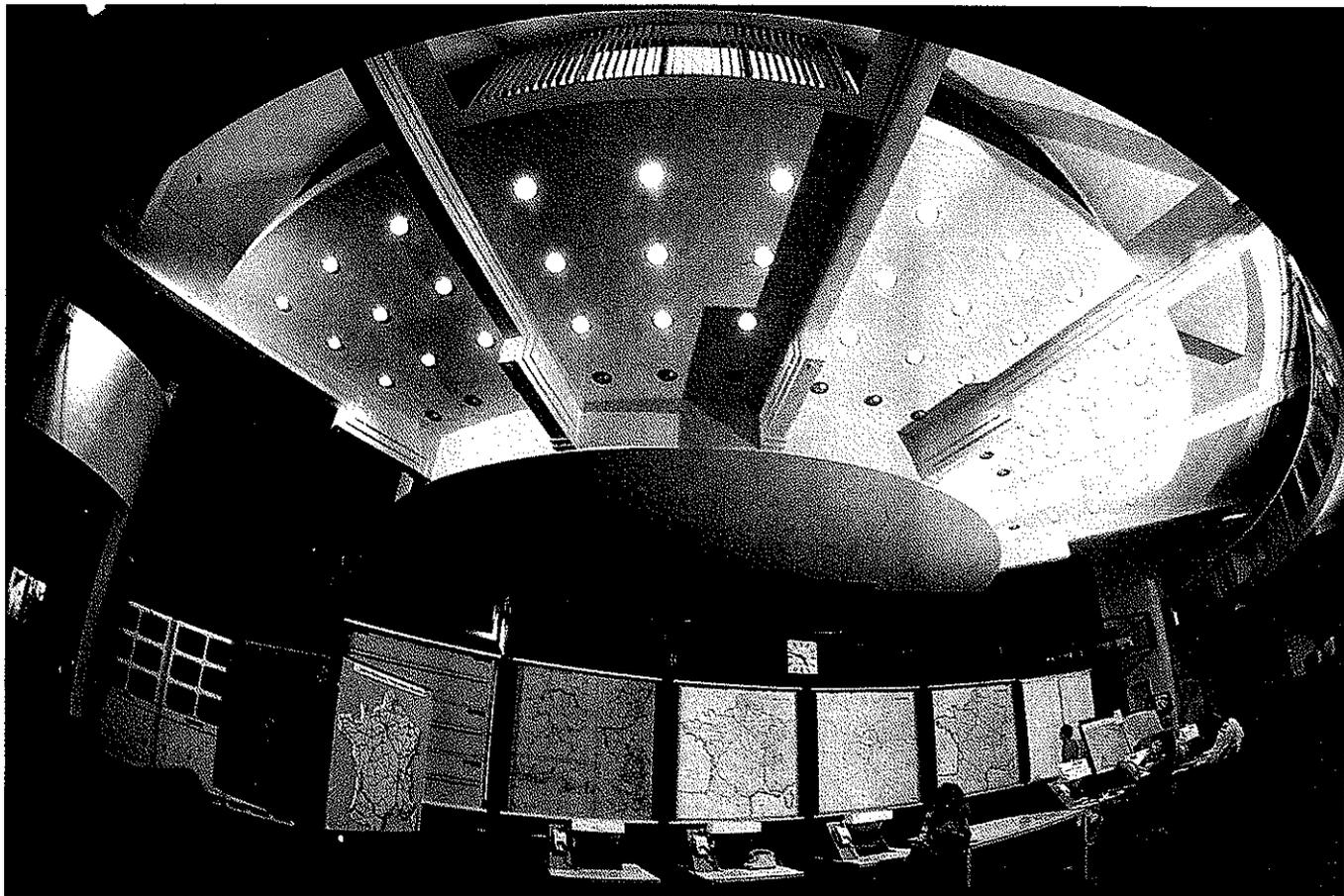


Figure 4. A voiture intelligente, route intelligente ! Quels sont les moyens dont on dispose pour assurer la fluidité de la circulation ? En France, le Centre national d'informations routières (CNIR) situé à Rosny-sous-Bois, centralise les données concernant le trafic sur tout le territoire national. Ces données sont recueillies par des capteurs de trafic disposés en certains endroits du réseau routier et autoroutier : boucles électromagnétiques ou câbles piézo-électriques. Des modèles informatiques d'évolution du trafic établis par périodes et lieux permettent aux techniciens d'effectuer des prévisions. Les informations sont synthétisées sur des tableaux synoptiques tels ceux que nous voyons sur cette photographie du CNIR, et permettent de prendre des décisions de régulation, comme le délestage sur des itinéraires parallèles. (Cliché F. Cepas-DSCR)

article de J. Colin dans ce supplément).  
 La firme française Logitrans, par exemple propose des logiciels exploités par les transporteurs pour l'optimisation des tournées de ramassage scolaire ou de distribution de marchandises, qui proposent le parcours le plus court possible en fonction des contraintes géographiques ou de consommation d'énergie. Le Service d'étude technique des routes et des autoroutes (SETRA) les utilise aussi pour la gestion des convois exceptionnels. Ils ne sont pas exploités à bord du véhicule, mais au bureau. De tels logiciels embarqués sont en ce moment testés sur les prototypes d'Atlas.

#### Le temps de bureau embarqué.

On l'a vu, le conducteur sera assisté à bord par un ordinateur, et disposera de bases de données et de systèmes de localisation. Mais il doit également savoir ce qui l'attend sur la route : où en sont les encombrements ? Quelle météo pour les heures à venir ? etc. Ici, plus que l'informatique, c'est la transmission des données qui révolutionnera la façon de se déplacer.

Aujourd'hui, avec les informations multidiffusées, l'automobiliste peut se sentir régulièrement informé par le biais de son auto-radio. Ceux qui possèdent un téléphone de bord peuvent obtenir des informations plus fraîches et plus localisées auprès des services spécialisés. Depuis quelques années, l'automobiliste peut aussi consulter les écrans de vidéotext diffusés par le réseau Antiope-Route sur un grand nombre de points, tels que stations-services ou relais d'autoroute, et un dispositif analogue utilisant le minitel est actuellement en cours d'expérimentation. L'expérience prouve cependant que l'information routière que l'utilisateur reçoit par le biais de l'auto-radio ne lui est pratiquement d'aucune utilité, cette information n'étant pas disponible en temps réel. Selon la nature de son comportement, qu'il soit actif, passif ou rétif, il ira même jusqu'à faire le contraire de ce qu'on lui recommande, et trouver dans bon nombre de cas qu'il a eu raison de le faire. Comment améliorer les échanges d'informations ?

Pour les courtes portées, les techniques de télécommande infrarouge, déjà utilisées dans les systèmes d'ouverture de portes de voitures haut de gamme peuvent également servir pour des échanges bidirectionnels, c'est-à-dire en émission et en réception, par exemple entre le véhicule et une borne située à un carrefour. Autrement dit, une expérience de cette nature est actuellement développée par Siemens dans la ville de Berlin, avec un système infrarouge de 550 nanomètres de longueur d'onde et un débit de 125 kbits/s. Elle permet de guider les conducteurs de mille véhicules pilotes, taxis, véhicules des constructeurs Mercedes, BMW, VW, Ford et véhicules d'usagers représentatifs équipés de moyens d'affichage. Chaque automobiliste transmet à l'ordinateur central

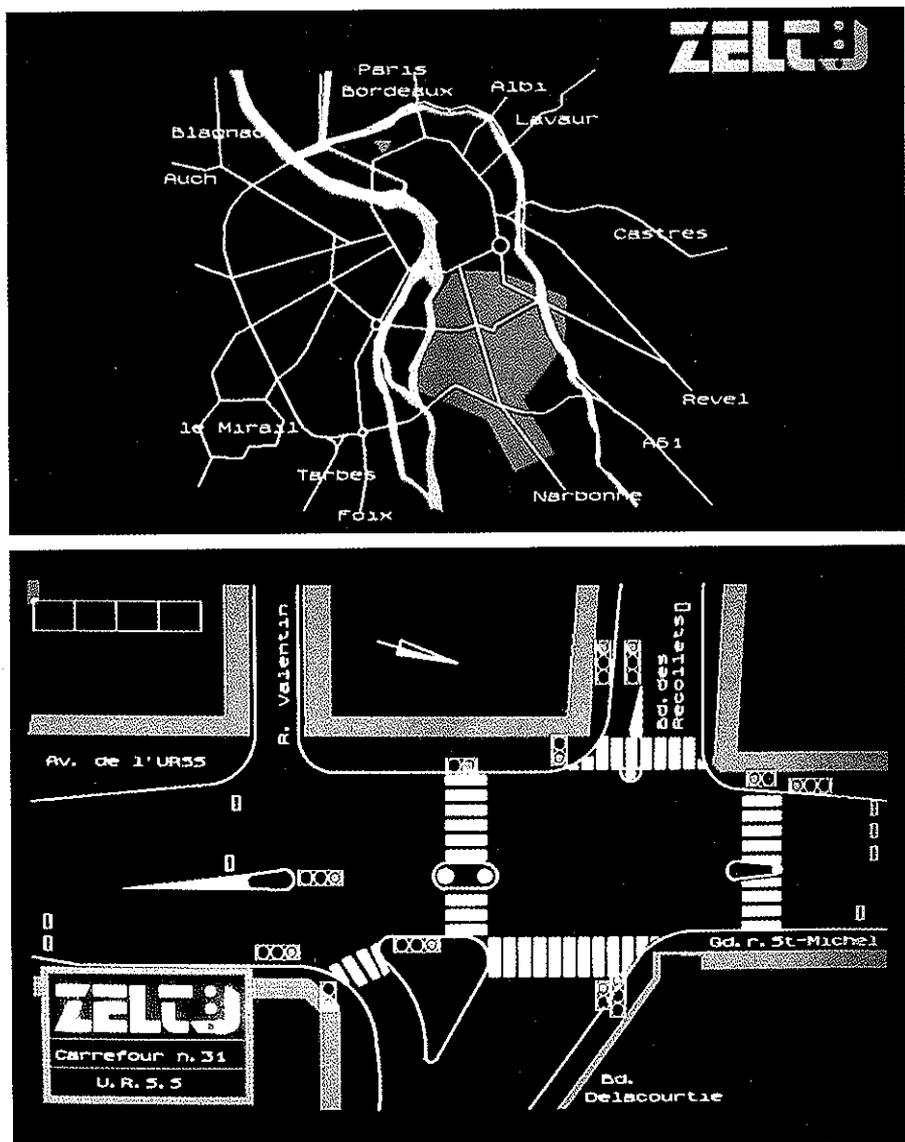


Figure 5. La régulation du trafic urbain a pour but d'éviter les embouteillages. Elle fait intervenir, dans des postes de contrôle, des logiciels qui, renseignés sur l'état de la circulation par des capteurs de trafic, choisissent en fonction des périodes et des lieux des stratégies de commande de feux de carrefours, en puisant dans une bibliothèque de « plans de feux » pré-établis correspondant à des situations particulières. La zone expérimentale laboratoire de Toulouse (ZELT), qui s'étend sur 400 hectares et dont nous avons ici la représentation sur écran d'un carrefour équipé de capteurs et de feux (A), ainsi que du synoptique de la zone laboratoire (B), a pour but d'améliorer les modèles actuels de régulation, ainsi que d'expérimenter de nouveaux matériels. Tous les carrefours de la ZELT sont instrumentés à l'aide de contrôleurs de feux et de boucles de comptage, et sont reliés à un ordinateur central par un réseau local. (Clichés ZELT)

par le biais de balises sa destination souhaitée : le calculateur lui conseille, à chaque passage de balise, un itinéraire.

Les infrarouges ne constituent cependant pas le seul support utilisable. Toujours pour les courtes portées, les hyperfréquences utilisées notamment dans les systèmes d'aide à l'exploitation (SAE) des réseaux d'autobus sont également envisagés. En Grande-Bretagne, plusieurs projets de guidage d'automobiles en ville, Navigator II, Path Finder, Pace et Electronic Sign Post System sont fondés sur cette technologie. Des études réalisées en France sous l'égide de l'Union des sociétés d'autoroutes à péage (USAP) portent sur le « péage dynamique », dit encore péage rapide ou péage sans arrêt : alors que le

véhicule franchit à 130 km/h un portique spécialement équipé d'émetteurs et de récepteurs, les informations relatives à l'identification du véhicule et à la transaction du paiement sont échangées avec un centre de contrôle, avec un débit de plusieurs dizaines de kbits par seconde. Ce système permet ainsi de payer l'autoroute sans avoir à s'arrêter...

Pour les moyennes et longues portées, d'autres supports sont envisagés. Pour les messages reçus par les véhicules d'une source d'information, routière ou météo par exemple, la radio-diffusion est la méthode la mieux adaptée. Des développements importants sont menés avec la technique RDS (Radio Data System) sur les projets Carin et Atlas déjà évoqués. Nor-

malisée au plan européen, la RDS consiste à ajouter sur une fréquence FM déterminée, une « sous-porteuse » modulée et numérisée. Cette sous-porteuse transmet des informations numériques avec un débit utile d'environ 350 bits/s. Il suffirait alors d'exploiter les émetteurs FM existants par simple addition d'un codeur, et d'adapter des parties spécifiques du récepteur embarqué dont le coût ne devrait pas excéder celui d'un auto-radio. Enfin, un codage automatique devrait permettre, sans interrompre l'écoute musicale de recevoir des messages d'information routière sous une forme affichée sur l'écran couplé à l'ordinateur de bord, ou bien de les faire reproduire par synthèse vocale ou enfin d'alimenter directement le système de navigation. Les constructeurs qui travaillent sur les différents projets, notam-

mentations du ministère des PTT : la transmission analogique d'une part, comme le dispositif Radio-Com 2000 en cours de diffusion dans la région parisienne et son axe Lyon-Marseille ; la transmission numérique d'autre part avec la mise en place d'ici 1992 du réseau radio-téléphonique cellulaire numérique (projet Marathon). Ce dernier fera l'objet d'une standardisation au niveau européen en s'inscrivant dans les futurs réseaux numériques à intégration de service (RNIS). D'un coût encore élevé, entre 10 000 et 15 000 francs pour un radio-téléphone, on peut penser qu'il s'agira d'un équipement professionnel par exemple à destination des transporteurs. Plus qu'un simple radio-téléphone, le raccordement de terminaux spécifiques embarqués de type minitel ou micro-ordinateur multipliera les fonctions

des injonctions. Sur route ou sur autoroute, l'exploitant dispose déjà d'un certain nombre de moyens allant du recueil d'informations auprès des forces de police ou d'agents de l'administration, ou bien automatiquement à l'aide de capteurs de trafic (boucles électromagnétiques disposées dans la chaussée). Le passage d'un véhicule induit une variation de courant facilement détectée selon la disposition des boucles ; on peut alors connaître en un point, pour la totalité de la chaussée ou chacune des voies, le débit, le taux d'occupation et la vitesse des automobiles. On utilise aussi des câbles piézo-électriques sur lesquels on enregistre les microdéformations provoquées par le passage des essieux, ce qui permet de différencier les poids lourds des véhicules légers. Par ailleurs, des réseaux vidéo sont employés en

## L'EUROPE DE L'AUTOMOBILE A L'HEURE DES GRANDS PROGRAMMES

Le programme européen de recherche industrielle Euréka développe quatre grands projets intéressants l'automobile. Prometheus (*Programming for an European Traffic Highest Efficiency and Unprecedented Safety*) concerne l'aide à la conduite ainsi que la sécurité et la gestion du fonctionnement du véhicule, avec la mise au point d'un copilote intelligent, ordinateur de bord capable d'aider, voire de remplacer le conducteur dans certaines situations et pouvant mener à long terme à l'automatisation de la conduite. Il mettra en œuvre pour cela des recherches sur la micro-informatique, l'intelligence artificielle, les composants électroniques et les techniques de communication. Il regroupe l'ensemble des constructeurs européens : la RNUR (Régie nationale des usines Renault), PSA et Matra pour la France ; Daimler-Benz, BMW, Volkswagen et Porsche pour la République fédérale d'Allemagne ; Fiat et Alfa Romeo pour l'Italie ; Volvo et SAAB-SCANIA pour la Suède et, enfin, Austin Rover, par le biais de Gaydon Technologies qui représente

également Jaguar et Rolls Royce, pour la Grande-Bretagne. D'une durée de huit ans, son montant prévisionnel global est de l'ordre de 2,5 milliards de francs, dont 20 % pour la France. Des équipements développés à partir des résultats de Prometheus verront sans doute le jour progressivement au cours de la dernière décennie de ce siècle.

D'un coût total de 400 millions de francs sur quatre ans, Carminat est organisé autour de la navigation, les interfaces homme/machine, la gestion du véhicule et le diagnostic pour l'aide à la maintenance, la radiocommunication, et l'emploi de base de données pour une cartographie interactive utilisant notamment un disque compact. Il devrait conduire à la commercialisation de produits, tels que des tableaux de bord avec lecteur de disques dès 1992. Carminat regroupe des développements déjà en cours : Carin mené par Philips aux Pays-Bas, axé principalement sur la cartographie et la navigation ; Atlas réunissant, en France, Renault et Télédiffusion de France portant notamment sur la

réception et l'intégration d'informations radio-diffusées ainsi que sur la gestion du véhicule ; et Minerve développé par SAGEM comme un système de diagnostic permanent du véhicule. Carminat associe en outre la Radiotechnique industrielle et commerciale (RTIC). De son côté, Demeter (*Digital Electronic Mapping of European Territory*), présenté par les sociétés Philips (Pays-Bas) et Blaupunkt (RFA), a pour objectif d'aboutir d'ici trois ans à des standards européens de cartographie compatibles avec la mise en mémoire sur disque compact. Il est doté d'un budget de 5 millions de francs.

Europolis, enfin, est présenté par les entreprises CGA-HBS (France), ISU (Espagne), Auselda (Italie) et Mediprint (Danemark). Il a trait à l'organisation de la circulation, avec la régulation du trafic en milieu urbain, et notamment la gestion des embouteillages, ainsi que celle des flottes de transport en commun spécialisées comme les taxis, les véhicules de pompiers, de police, etc. Etalé sur sept ans, il est évalué à 800 millions de francs.

ment Philips et Blaupunkt pourraient mettre en vente des auto-radios de ce type d'ici trois ans.

Pour les transmissions de longue portée, rien de tel cependant que le téléphone ! La radio-téléphonie mobile permet d'établir des communications en émission et réception selon des techniques dites cellulaires : compte tenu de la limitation des fréquences disponibles, on cherche à les employer au mieux en découpant un territoire en cellules équipées chacune d'émetteurs de faible portée disposant d'unces. Pour envoyer un message de fréquences. Pour envoyer un message, le système utilise des fréquences différentes dans des cellules situées l'une à côté de l'autre. Cela multiplie le nombre de communications simultanées avec un nombre de fréquences limitées. Les mêmes fréquences peuvent alors être utilisées pour des communications différentes dans des cellules suffisamment éloignées.

Deux types de transmission sont envisagés et actuellement mis en œuvre par la DGT, Direction générale des télécommu-

du système, qui pourra alors servir dans des opérations de logistique. Nous voici proches de la bureautique embarquée... Notons enfin que pour certains usages, comme les transports routiers à l'exportation, des systèmes de transmission par satellite pourraient être également envisagés, à l'instar de la localisation et de la navigation que nous avons déjà évoquées.

### La route intelligente.

Aide à la conduite, localisation, multiplus, pour l'automobiliste... il ne reste plus, pour l'automobiliste, qu'à évoluer dans un environnement où le trafic est réglé de façon à être plus fluide et à éviter les embouteillages. En matière de régulation du trafic, dont le but est de limiter les saturations, le principe est identique en zone urbaine ou sur autoroute. Il faut tout d'abord effectuer un recueil de données sur l'état du trafic, puis traiter ces données à l'aide de modèles qui permettent une prévision, et enfin transmettre à l'automobiliste de l'information, des conseils ou

certain points particulièrement sensibles : boulevards périphériques de Paris, certains carrefours ou zones péri-urbaines sur les autoroutes, en utilisant des caméras télécommandées placées sur des mâts. Les techniques d'analyse d'images et l'apparition d'ordinateurs spécialisés permettront bientôt d'extraire des détails ou des paramètres d'exploitation comme le taux d'occupation ou la vitesse. En des systèmes spécifiques pourront recueillir localement d'autres types de données : brouillard, verglas.

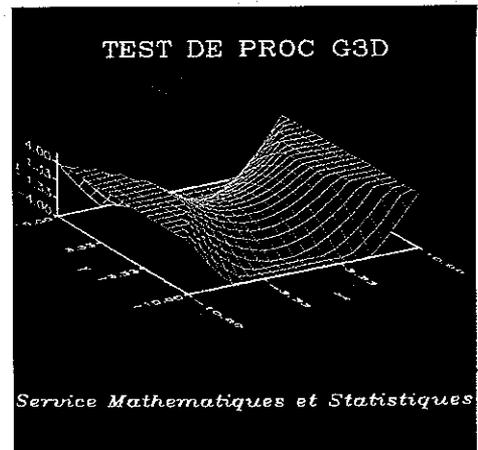
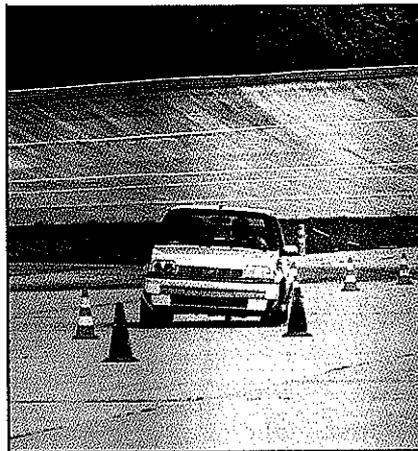
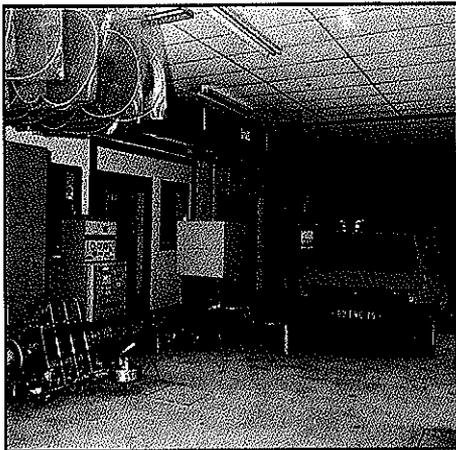
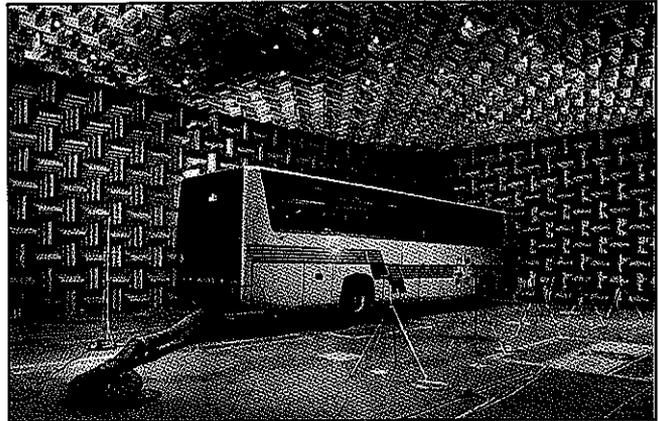
En France, les données concernant le trafic interurbain sont centralisées dans les sept centres régionaux d'informations de circulation routière (CRICR) et au centre national d'informations routières (CNIR) de Rosny-sous-Bois (fig. 4). Ces centres traitent les informations de la manière suivante : les divers capteurs répartis sur le réseau donnent la progression des flots de véhicules ; les techniciens disposent de modèles d'évolution du trafic en fonction des lieux et des périodes, qui permettent à l'aide des données recueillies de prévoir

suite page 55

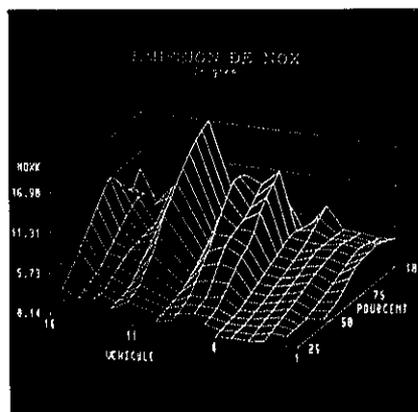
# UTAC

## Union Technique de l'Automobile, du Motorcycle et du Cycle

Laboratoire pluridisciplinaire  
au service de l'industrie,  
laboratoire agréé pour les  
essais de réception et les  
contrôles de conformité des  
véhicules avec les normes  
en vigueur.

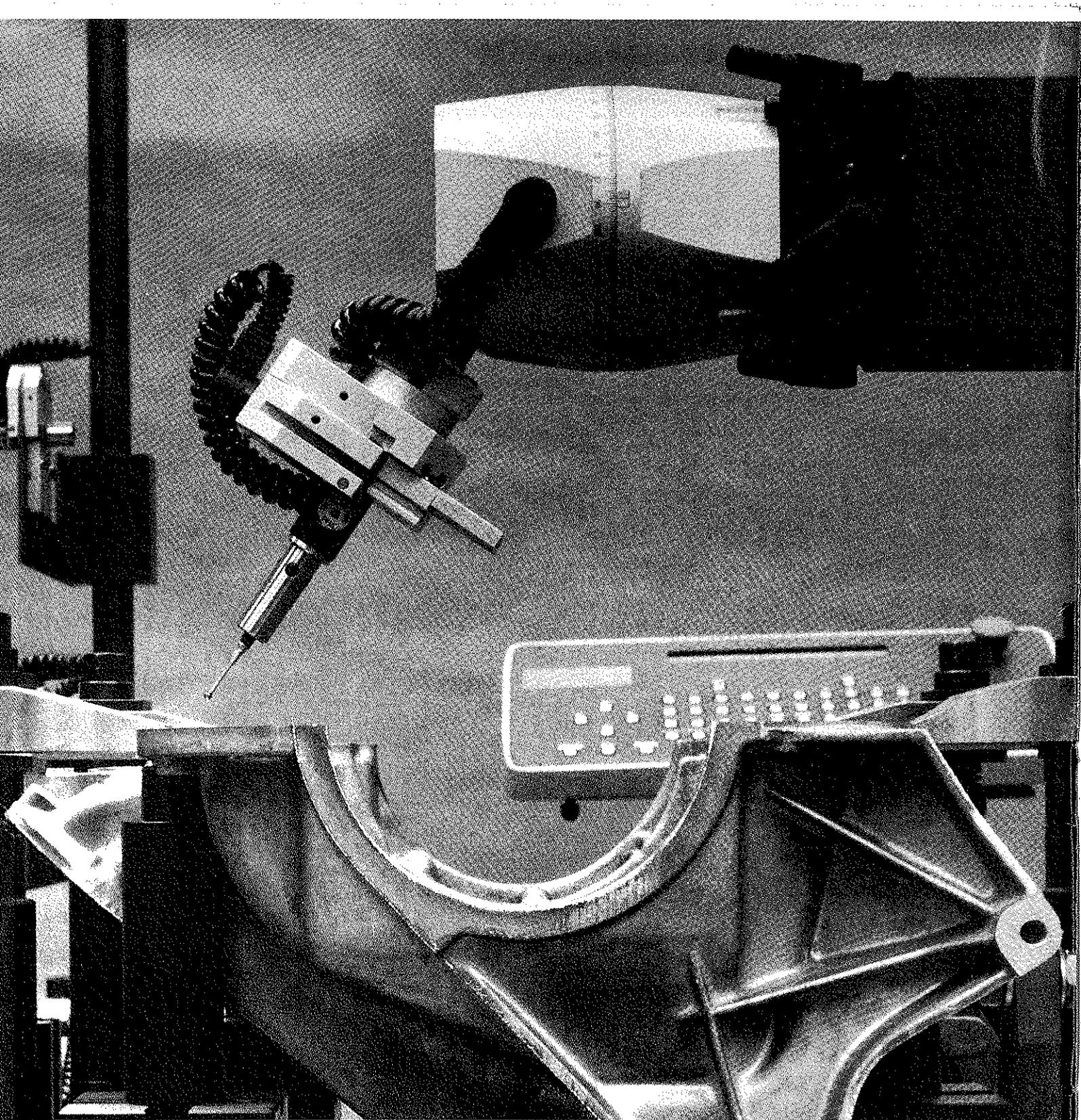


*Energie, Pollution,  
Acoustique, Photométrie,  
Optique, Vibrations,  
Chocs, Stabilité des systèmes,  
Comptabilité électromagnétique,  
Mesures, Instrumentation,*



*Essais spéciaux, Calculs,  
Modélisation, Simulation,  
Mathématiques et Statistiques,  
Etude, Réalisation  
de moyens spécifiques,  
Assistance technique.*

**UTAC - AUTODROME DE LINAS - 91310 MONTLHERY - TEL. (1) 69.01.10.47**



## LA MAÎTRISE DU FUTUR

Pour gagner la compétition de l'industrie automobile, PSA s'est doté d'outils performants permettant de développer une recherche avancée sur les moyens de production et les composants de la voiture de demain. Dans l'atelier flexible de Meudon, chef d'œuvre de technologie, l'utilisation de la robotique et des automatismes permet déjà d'étudier une production adaptée aux nécessités

du futur et mettra la petite série aux normes économiques de la grande. Dans les laboratoires du Groupe PSA, des spécialistes mettent en œuvre les moyens de recherche et d'études les plus sophistiqués sur l'utilisation des produits et techniques de l'avenir: matériaux composites, céramique... dont certains sont déjà appliqués à la production en série. Un futur qui roule déjà. Un futur dont

bénéficient dès maintenant la 405 et l'AX, dernières nées des gammes Peugeot et Citroën. Un futur que les hommes de PSA inventent chaque jour.

GROUPE  
**PSA**  
nous créons l'avenir

MPF 6/87

Dans l'atelier flexible de Meudon, un robot tri-dimensionnel à palpeur électronique contrôle les cotes d'une nouvelle pièce. Tolérance: 1/2 micron.

de la page 52

at de la circulation. Une synthèse sous forme de tableaux synoptiques et l'édition de téléx permettent de prendre le cas échéant des décisions de régulation, même le délestage sur itinéraires parallèles ou d'assurer le relais de l'information aux médias pour inciter le conducteur à modifier son comportement. Un exemple ainsi donné par le plan Palomar, destiné à coordonner les opérations de régulation sur les axes empruntés par les Franciens, Paris-Méditerranée et Paris-voie.

En milieu urbain, le schéma de principe est analogue. Le recueil des données se fait de la même façon, avec les capteurs placés plus haut. Il est cependant beaucoup plus dense en raison du plus grand nombre de points de recueil des données. Les messages sont transmis aux conducteurs par les feux de carrefour, qui sont commandés afin d'éviter la saturation. Pour ce faire, la modélisation est plus délicate qu'auparavant, car le réseau est plus complexe qu'un simple tronçon d'autostrade ; il s'agit ici d'un réseau « maillé », avec un grand nombre de carrefours et de feux. La régulation se fait donc comme dans une ville, des modèles de trafic sont établis en fonction des heures et des jours ; l'ordinateur central, qui reçoit des informations provenant des capteurs, met en œuvre des « plans de feux » pour tel type de situation ; il va prévoir, en fonction de ces modèles et de ces données, s'il y a un risque de saturation et pourra puiser dans une bibliothèque des plans de feux correspondant à des situations critiques. Mais il faut bien reconnaître que, souvent, c'est un opérateur humain, un spécialiste, qui prend la régulation en main lors d'un embouteillage, et prend des décisions en fonction de son expérience.

Le projet Europolis a pour but d'améliorer ces outils pour mieux lutter contre la saturation. Il s'appuiera pour cela sur un laboratoire original dans le monde, permettant l'expérimentation *in situ* de stratégies de régulation du trafic urbain. Il s'agit d'une zone échantillon déjà implantée, constituée par la ZELT (Zone expérimentale laboratoire de trafic de Toulouse) qui couvre 400 hectares, soit un cinquième de la ville (voir fig. 5). Toutes les voies et tous les carrefours sont instrumentés à l'aide de contrôleurs de feux, de boucles de comptage, etc., ce qui dépasse de loin l'équipement urbain habituel. Les informations et les commandes sont centralisées dans un PC-laboratoire équipé d'un ordinateur Vax de Digital, tête du réseau local que constitue le laboratoire.

ZELT aura pour but d'étudier de nouveaux logiciels de régulation, et sera également un lieu d'accueil pour de nouveaux matériels de recueil et de transmissions des données concernant la circulation comme les caméras ou capteurs à ultrasons. Le CERT-ONERA à Toulouse travaille avec les équipes de l'Institut national de Recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) sur la modélisation du trafic. Enfin, il est intéressant de citer qu'un sys-

tème expert de gestion de la congestion (embouteillages) mis au point par l'INRETS est en ce moment expérimenté à Paris.

#### Quelles stratégies pour demain.

Certains objectifs des programmes que nous avons cités, aboutissant à une quasi-automatisme de la conduite automobile, paraissent peu réalistes dans un avenir immédiat. On peut penser que, en ce qui concerne la conduite, les systèmes fonctionneront encore longtemps avec une intervention humaine obligatoire. De même une régulation centralisée des systèmes urbains comportant une information individualisée de tous les véhicules ne paraît pas accessible à moyen terme. Néanmoins, l'évolution technologique est inéluctable. Il sera possible de faire pénétrer dans l'habitacle une quantité supplémentaire d'informations considérable. L'analyse ergonomique de l'évolution des tableaux de bord et l'organisation de la mise à disposition des informations devra prendre une importance suffisante si l'on désire éviter la saturation du conducteur et mettre en péril sa sécurité. Il n'est pas imaginable, par exemple, de laisser consulter une carte sur écran à 130 km/h.

L'automobiliste, premier concerné, souhaitera-t-il disposer d'autre type d'information ? Faudra-t-il, par exemple, lui transmettre en temps réel l'actualisation des éléments variables d'un guide touristique contenu en mémoire ? On constate donc que le champ de réflexion reste vaste : même s'il ne semble pas subsister de verrous technologiques incontournables pour incorporer une dose « d'intelligence » dans les automobiles, les questions relatives à la bonne adaptation des interfaces homme-machine et d'organisation des systèmes demeurent très ouvertes.

Enfin, le dernier point et non le moindre concerne l'industrialisation de ces nouveaux équipements. Prometheus est l'un des plus vastes projets du programme Eurêka dont l'effet mobilisateur, aussi bien scientifique qu'industriel, est très important. Rassemblant tous les constructeurs européens, les questions de standardisation des logiciels et des matériels utilisés pour des voitures de marques différentes ont de bonnes chances de pouvoir se régler sans difficultés fondamentales. Toutes les voitures, par l'intermédiaire de leur ordinateur de bord, pourront donc dialoguer entre elles, et cette définition de standards communs pourra déboucher sur un effet de masse suffisant pour aboutir à des réalisations industrielles de très grande série, pour les composants ou les sous-systèmes. ■

Pour en savoir plus

- Travaux, n° 616, décembre 1986.
- CEE, Séminaire DRIVE, septembre 1986.

## LE PREMIER FORUM SUR LES TRANSPORTS EUROPÉENS DU FUTUR

se tiendra  
du 14 au 16  
septembre 1987  
à Munich.

Organisé par  
la Fondation Bölkow  
et

le Centre d'études  
des systèmes et  
techniques  
avancées (CESTA),  
il sera ouvert par  
les ministres français  
et allemand  
des Transports,  
et portera  
sur l'application  
des technologies de  
communication et de  
traitement de  
l'information  
dans les  
transports aériens,  
maritimes  
et terrestres.

Pour tous  
renseignements,  
s'adresser au  
CESTA,

Monique Lainé  
1 rue Descartes  
75005 Paris,  
tél. : (1) 46.34.32.77.

# Les transports : une industrie de haute technologie

entretien avec Monsieur Jacques Doufflaques, ministre délégué chargé des Transports

**Avec un secteur aéronautique en pleine expansion et un excédent de la balance commerciale pour les matériels terrestres, l'industrie française des transports se porte plutôt bien. La concurrence internationale est cependant vive, d'autant que les transports mettent désormais en œuvre des technologies de pointe, dont l'évolution est très rapide. Quelle est, dans ce contexte, la place de la recherche ? Jacques Doufflaques, ministre délégué chargé des Transports, répond, en décrivant les lignes de force de son action.**

*La Recherche: Longtemps considérés comme un domaine d'industrie traditionnelle, les transports sont devenus aujourd'hui un secteur de pointe. Quelles sont, Monsieur le Ministre, les grandes lignes de votre action pour favoriser la recherche et l'innovation dans les transports, et quels sont d'après vous les principaux secteurs d'avenir ?*

Jacques Doufflaques: Les transports représentent en réalité un secteur très diversifié, dont les enjeux techniques et économiques sont multiples. Transports de personnes et de marchandises, transports aériens, terrestres, fluviaux et maritimes utilisent des techniques et des organisations très différentes selon les types de liaisons qu'ils desservent. Pour s'en tenir aux transports aériens et terrestres, on voit bien que la microélectronique, l'informatique et les techniques de communication, largement utilisées dans le transport aérien, font une entrée en force dans les transports terrestres. Au-delà de la simple perspective de l'ouverture du marché commun européen fin 1992, l'utilisation massive des nouvelles technologies va bousculer les habitudes et transformer le monde du transport. Ma tâche est d'aider à cette transformation et de donner aux entreprises françaises le cadre le mieux adapté à des niveaux de performances, de qualité et de sécurité plus élevées, afin qu'elles puissent affronter la concurrence internationale dans les meilleures conditions.

Nous sommes en effet dans un contexte de concurrence internationale sévère, rendue plus difficile par des possibilités d'évolutions technologiques rapides. Les sec-

teurs d'avenir sont donc ceux qui auront la capacité technique et financière de répondre à ces défis. Il faut donc soutenir la recherche industrielle et développer les structures de recherches concertées entre les entreprises de transport, les autorités responsables du transport, les organismes de recherche publics ou privés, les universités et les industriels. C'est, en particulier, pour les transports terrestres, la mission du programme de recherche et de développement technologique mené en association avec le ministère chargé de la Recherche et qui permet de diffuser les informations et les connaissances, de développer les synergies et de coordonner les actions.

Dans ce domaine des transports terrestres, les priorités portent sur les trains à grande vitesse, les systèmes automatiques urbains, les systèmes d'aide à l'exploitation des autobus et à la circulation routière, les aides à la conduite automobile, et pour les transports routiers de marchandises l'utilisation, à partir de 1992, de systèmes de localisation par satellite.

En aéronautique, il est indispensable de continuer à progresser sur l'aérodynamique, les matériaux nouveaux — en particulier les alliages aluminium-lithium et les composites thermo-plastiques — le contrôle actif généralisé, les nouveaux propulseurs et les systèmes de navigation.

Les transports sont révélateurs du niveau de vie d'un pays et de son degré de développement technologique, et l'accroissement de leur productivité contribue fortement à la croissance économique. Pour une nation moderne, la recherche et le développement dans les transports sont donc une question clé.

*L. R.: Est-ce que, selon vous, la recherche dans les transports est d'abord l'affaire de l'Etat ou celle de l'industrie ? Quel doit être le rôle de chacun ?*

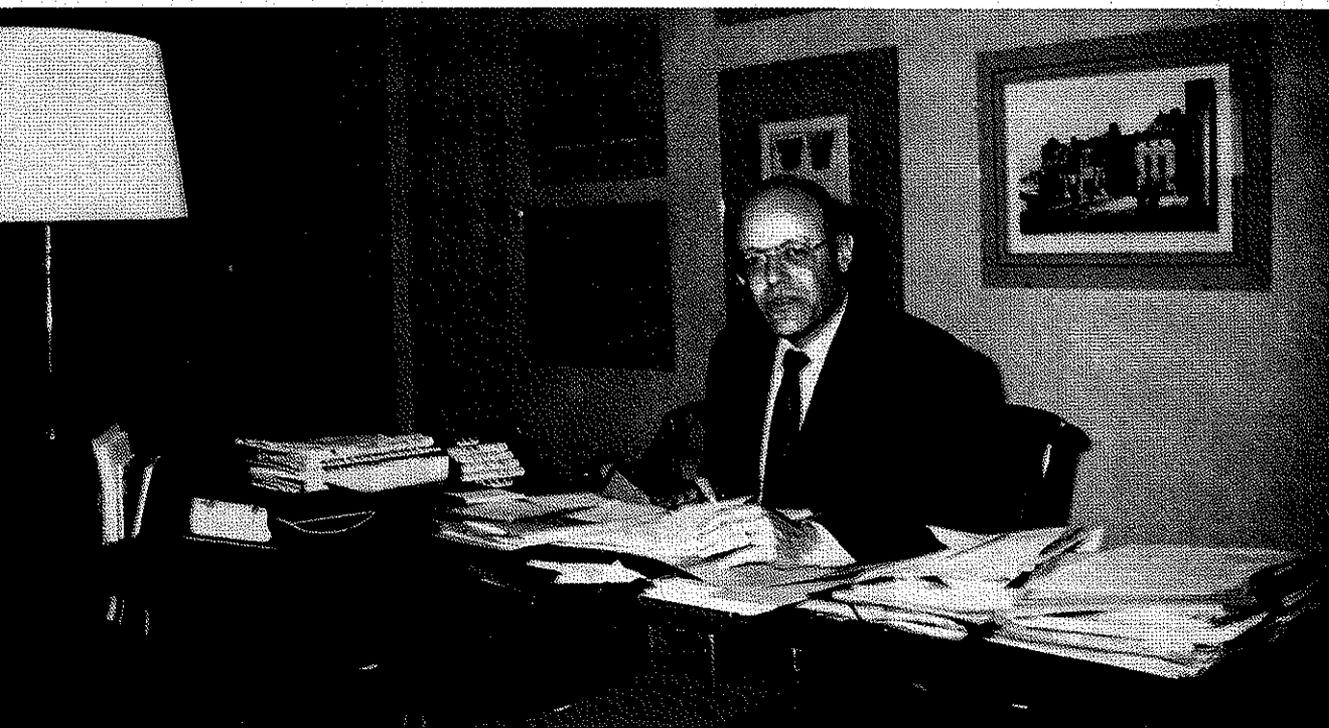
J. D.: La réponse, vous la connaissez: c'est l'affaire des deux, mais surtout des industriels, qu'il s'agisse des grandes entreprises nationales ou de l'industrie privée, avec l'appui de l'Etat.

L'Etat est en charge de la recherche fondamentale; pour la recherche directement appliquée au secteur des transports, il est un partenaire; son rôle n'est pas de diriger la recherche, mais d'apporter sa contribution. Il peut être un bon catalyseur par le biais de programmes de recherche concertés et par la valorisation des résultats. Cela le conduit à participer au financement des recherches, et à prendre sa part de risque, à condition que les perspectives de résultats répondent aussi au point de vue du marché.

Dans tous ces domaines, la rentabilité des investissements de recherche peut difficilement s'apprécier avant une quinzaine d'années; il est donc normal que l'Etat prenne sa part de risque car sinon le champ des recherches pourrait se limiter aux opérations à débouchés immédiats.

*L. R.: Pensez-vous que les aides financières de l'Etat en matière de recherche sur les transports soient suffisantes ?*

J. D.: Considérons, si vous le voulez bien, les objectifs visés et les différents domaines. Pour ce qui concerne l'aéronautique, de toute évidence, l'effort accompli et que nous continuons à accomplir est efficace si l'on en juge par la réussite commerciale



es derniers programmes d'avions, d'hélicoptères et de moteurs, notamment l'A 320 et le moteur CFM 56. Il faut bien sûr maintenir cet effort et c'est ce que nous faisons avec les nouveaux Airbus et avec le moteur UDF.

Dans les transports terrestres, notre balance commerciale a également un excédent important. Cela est dû en partie à l'effort de l'Etat, mais aussi et surtout aux apports techniques et financiers des grandes entreprises, et aux succès à l'exportation de la branche automobile. Je suis plus inquiet sur le niveau de financement de la recherche dans ce secteur. La plupart des pays économiquement comparables au nôtre, comme les Etats-Unis et la République fédérale d'Allemagne, rencontrent dans ce domaine leur aide en matière de recherche et de développement, il faut bien s'en rendre compte.

Je recherche donc, avec mes collègues concernés, les moyens de rester présent à un niveau suffisant.

**R. : Au plan international, le programme recherche industrielle Eurêka prend l'ampleur en considération le secteur des transports. Comment voyez-vous, Monsieur le ministre, l'avenir de cette coopération européenne ?**

**R. :** Je pense que toute initiative susceptible de rassembler les capacités de recherche et d'innovation européennes sur des programmes de haute technologie mérite d'être encouragée. Dans le domaine des transports, cela est particulièrement indispensable.

Au début des années 1970 ont démarré les premiers programmes d'aéronefs com-

merciaux dans le cadre européen. La mise en commun des capacités financières, techniques et industrielles, a donné à l'industrie aéronautique européenne la dimension nécessaire pour prétendre à une part notable du marché mondial. La percée de l'Airbus qui a mis un terme à la situation de quasi-monopole exercé par les constructeurs américains est une illustration convaincante du bien-fondé de cette approche. Les constructeurs automobiles en ont tiré la leçon en se rassemblant autour des grands programmes Prometheus, Carminat et Europolis, et je suis sûr que, dans le domaine ferroviaire, des projets ambitieux de coopération européenne verront prochainement le jour.

Ainsi se construit une Europe moderne et compétitive, dont la réussite dépend de la volonté de coopération des entreprises et de leur capacité à surmonter les vieilles habitudes. Ainsi, s'ouvre aussi une voie de recherche européenne originale à la fois industrielle et associative, tout en laissant aux entreprises concernées leur identité propre.

**J. R. : Les Etats-Unis, le Japon, le Canada développent aussi leurs grands programmes de recherche. Les transports français vous paraissent-ils suffisamment innovants pour affronter cette concurrence sur le marché mondial ?**

**J. D. :** Certes, les Etats-Unis et le Japon consacrent des sommes considérables à la recherche et au développement dans les transports. Les dernières statistiques de l'OCDE portant sur la R et D transports en 1983 donnent pour les Etats-Unis : 81 620 millions de francs dont 75 % de finance-

ments publics pour le secteur aérospatial, et 31 910 millions de francs dont 11 % de crédits publics pour les matériels de transports. Ces mêmes statistiques donnent pour le Japon 20 280 millions de francs, dont 4 % de crédits publics pour les matériels de transport.

Mais les dépenses consacrées à ces mêmes secteurs en France sont également significatives : 8 510 millions de francs, dont 69 % de financements publics, pour le secteur aérospatial et 5 600 millions de francs, dont 3 % de financements publics, pour les matériels de transport.

L'industrie française des transports peut s'enorgueillir d'exemples d'innovations et de réussite incontestables : l'Airbus A 320 est en effet l'appareil le plus moderne actuellement sur le marché ; le TGV est un exemple de succès technique et économique et les systèmes de transport urbain guidés automatiques, VAL, SACEM et ARAMIS, se situent au premier niveau international.

Les programmes de recherche ECO 2000 et VESTA ont permis des gains de consommation énergétique remarquables dans l'automobile, le projet VIRAGES débouche sur la conception du poids lourd de demain et le système ATLAS est un pionnier des grands programmes européens d'aide à la conduite.

Ce sont autant d'illustrations de la capacité d'innovation de notre industrie. Il nous appartient de maintenir et de développer cette capacité dans le cadre français et européen. Je suis pour ma part persuadé que les transports français sauront relever les défis du futur.

*Propos recueillis par Michel Fantin*

Une ville, c'est fait de croisements.

עיר מודכנת מצמתים

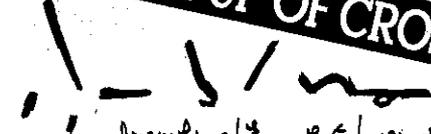
UNA CIUDAD SE HACE DE CRUCES

EEN STAD BESTAAT UIT KRUISPUNTEN

En by bestar af gader, der modes i kryds.

KAUPUNKI ON TEHTY RISTEYKSISTÄ

是由若干交叉组成一个城市



BIR SEHIR KAVSAKLARDAN OLUSUR.

EN BY BESTAR AF GADER, DER MØDES I KRYD.

UNA CITTÀ È FATTA DI INCROCI.

चीराहो नगर बनाना है

Город состоит из перекрестков

ЈЕДАН ГРАД СЕ СТВОРИО МЕШАЊИМА НАРОДА.

UNE VILLE C'EST FAIT DE CROISEMENTS.

المدينة عبارة عن نقاط تقاطع

EEN STAD IS EEN SAMENLOOP VAN WEGEN.

EN GRAD MEŠANJEM JE POSTAL Z NARODOV.

يك شهر از تلاقی هاتشکیل میشود

EN RA STADT SÉN FILL KRITZUNGA

EINE STADT, DIE AUS KREUZUNGEN BESTEHT.

Aujourd'hui la ville est ouverte. Tout se croise et se mélange pour mieux s'enrichir. Paris du jour et Paris de la nuit. Paris des uns. Paris des autres. Paris des parisiens et des touristes. La ville n'est jamais identique à elle-même. Ville de toutes les

différences. Rencontres productives de langages, de signes, d'écritures. Tressage de cultures. Échanges positifs. Rêve de ville ou ville de rêve. C'est cette ville complexe et saisissante que la RATP vous invite à parcourir et à comprendre.



LA VILLE EST SAISSANTE, SAISISSEZ LA.

街はさまざまな交差から成立っている。

# LA RECHERCHE

revue mensuelle  
éditée par  
la Société d'éditions  
scientifiques,  
57, rue de Seine,  
75280 Paris Cedex 06

Téléphone :  
(1) 43.54.32.84

Télex :  
EDIREHI 201 880 F

● DIRECTEUR  
Claude Cherki

SUPPLÉMENT AU N° 190 LA RECHERCHE

# LA RECHERCHE TRANSPORTS

Numéro préparé  
par Michel Fantin  
Ana Gerschenfeld  
et Annick Miquel  
avec le concours de

Georges Philippe  
adjoint au chef du service  
des études et de la technologie  
au ministère chargé des transports.

● SECRETARIAT DE RÉDACTION  
Nanou Livet

● DIRECTION ARTISTIQUE  
Jocelyne Vaude

assistée de Anne Bricon-Haultecœur

● FABRICATION ET RÉALISATION  
Gérard Mazataud

assisté de Daniel Fion

● ABONNEMENTS  
Emmanuel Chodkiewicz

● PROMOTION ET VENTE  
Dominique Monti

● PUBLICITÉ  
Chef du service : Simone Sicsic  
tél. : (1) 43.25.04.90

Les titres, les intertitres, les textes de présentation, les légendes et les encadrés sont établis par la rédaction de La Recherche.  
La loi du 11 mars 1957 interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal. Commission paritaire n° 50272 © 1987 Société d'édition scientifique

## INDEX DES ANNONCEURS

- 13. Aérospatiale — 2. AFME — 21. Alsthom — 55. Cesta — 16-17. CGP — 25. Dunod — 60. Eurotunnel — 15. Falveley — 22. INRST — 29. Lettre de l'A — 33-35-37-39. Mercedes (Ogilvy) — 54. Peugeot — 58. RATP — 59. Renault — 26. SNCF — 12. Technip — 14. UTA (DDB) — 53. UTAC.